SOCIETÀ ITALIANA PER LE STRADE FERRATE MERIDIONALI

Società anonima sedente in Firenze - Capitale L. 260 milioni interamente versati

ESERCIZIO DELLA RETE ADRIATICA

DIREZIONE DEI LAVORI

# STUDIO sulla ventilazione artificiale della Galleria del Gottardo, ottenuta coll'applicazione del sistema "Saccardo,,

***RELAZIONE** sulle esperienze eseguite e sui risultati ottenuti.*

***APPUNTI** sui calcoli effettuati in base ai dati raccolti.*

***QUADRI NUMERICI** e **TAVOLE**.*



Ancona, Settembre 1899

# INDICE

**RELAZIONE** *sulle esperienze eseguite e sui risultati ottenuti.*



**APPUNTI** *sui calcoli effettuati in base ai dati raccolti.*



***QUADRI NUMERICI***

## TAVOLE

## *RELAZIONE*

*sulle esperienze eseguite e sui risultati ottenuti*

1º Generalità – Nelle reti ferroviarie italiane ed estere coll'aumento del traffico venne la necessità di provvedere alla ventilazione dei maggiori sotterranei, dal punto di vista, sia dell'ambiente del sotterraneo propriamente detto, sia di quello in cui respira il personale del treno, od anche in considerazione di entrambe queste circostanze.

La Direzione dei Lavori della Rete Adriatica, iniziati questi studi in occasione del primo esperimento compiutosi nel 1891 con un piccolo apparecchio "Saccardo" applicato al cunicolo di direzione della Galleria del Pratolino, diede loro ampio sviluppo quando venne, per prova, applicato tale sistema nel 1894 al tunnel di Pracchia e quando su esso eseguì le proprie osservazioni la Commissione Governativa a tal uopo istituita.

Fu in tale circostanza che il problema della ventilazione dei sotterranei ferroviari venne considerato nelle sue linee generali indipendentemente anche dal nuovo apparecchio "Saccardo" del quale si potè valutare l'effetto, sul grado di ventilazione conseguito, applicando le formule e le considerazioni fatte pel caso generale dell'aeramento in relazione alle diverse circostanze di traffico, di lunghezza e di andamento dei diversi sotterranei.

La terza fase di questi studi è costituita dagli esperimenti che la prefata Direzione ebbe occasione di eseguire nel Giugno 1899 alla grande Galleria del Gottardo poco dopo compiutovi l'impianto dell'apparecchio "Saccardo" e dalle successive calcolazioni e considerazioni svolte nei suoi Uffici in Ancona.

In queste ultime ricerche si poneva nettamente il problema dal punto di vista non solo dell'ambiente in cui respira il personale di linea, e se vuolsi anche della conservazione dell'armamento, ma altresì del limite fino al quale può applicarsi convenientemente il nuovo sistema a simili lunghi sotterranei, tenuto conto della scala d'intensità del traffico.

L'applicazione della ventilazione artificiale al più lungo tunnel finora esistente, l'impianto compiuto ai Giovi e quello in corso al valico di Ronco, gli studî che si stanno facendo per le Gallerie Sella, del Belbo e del Cenisio, l'interessamento preso pei ricordati studî della Commissione Italiana del 1894, dal Comitato per l'esercizio tecnico delle Ferrovie Francesi,[1] dai signori Ingegneri Wagner e Fox che presero, col Prof.re G. Colombo, tanta parte agli studî preventivi del valico del Sempione, specialmente per quanto concerne la ventilazione durante i lavori ed il futuro esercizio di quel lungo sotterraneo[2], e finalmente l'interessamento spiegato testè dalle Amministrazioni Ferroviarie Austriache, per provvedere alla ventilazione artificiale di alcuni dei loro più importanti tunnel, costituiscono un assieme di fatti dai quali risulta evidente come ormai l'ingegneria ferroviaria debba prendere in seria considerazione simili studî, così legati alla sicurezza ed allo sviluppo dell'esercizio.

2° Impianto dell'apparecchio "Saccardo„ alla Galleria del Gottardo e scopo degli esperimenti — Come risulta dal rapporto pubblicato in data 27 Maggio u. s. dalla Direzione della Ferrovia del Gottardo,

---

(1) La Commissione Francese per lo studio dei lavori della Commissione Italiana era costituita dai signori **Léauté**, Membro dell'Istituto di Francia, **Pontzen** Professore alla Scuola Superiore delle Miniere a Parigi, **Vicaire** idem Relatore.

(2) Commissione internazionale incaricata dal Consiglio Federale Svizzero di esaminare il progetto Brands-Brandau & C.; composta dei Sig.ri C. I. Wagner, Francis Fox, Prof.e G. Colombo.
Vedansi inoltre osservazioni e note sul sistema Saccardo applicato a Pracchia nella memoria: The ventilation of Tunnels - nel Vol. CXXXVI Session 1898-99 - The Institution of Civil Engineers.
Altre pubblicazioni sugli studî compiuti a Pracchia trovansi nell'Engineering 6 e 20 Dicembre 1895.
Il Sig. C. I. Wagner scrisse del pari una nota sugli studî compiuti dalla Direzione dei Lavori Rete Adriatica e dalla Commissione Italiana istituita per l'esame del sistema Saccardo e dei risultati ottenutisi a Pracchia.

quest'Amministrazione fu indotta a provvedere alla ventilazione artificiale di quel sotterraneo dall'aumento notevole subito dal traffico, talchè quando la corrente naturale è debole rendonsi difficili ed anzi pericolose le condizioni di respirazione del personale di sorveglianza e di manutenzione destinato a rimanere per parecchie ore nel tunnel, fino anche al punto di richiedere forzate sospensioni di lavoro e limitazioni di treni facoltativi.

Vennero altresì fatte esperienze sull'impiego di apparecchi fumivori: nè quell'Amministrazione ritenne risolto il problema del miglioramento dell'atmosfera di quel sotterraneo coll'impiego dei combustibili liquidi, il quale d'altra parte è tutt'altro che economico.

Quell'Amministrazione non ritenne neppure conveniente e pratico munire il personale di linea di apparecchi di salvataggio (recipienti di aria od ossigeno compresso) già riconosciuti insufficienti pel personale del treno: nè credette conveniente l'introdurre nel tunnel un considerevole volume di aria mediante una tubolatura speciale, perchè questa avrebbe dovuto assumere proporzioni eccessive per rendersi veramente efficace, con dispendio per dir vero tanto ingente di forza motrice che neppure la Reuss avrebbe potuto fornirla in epoca di secchezza, a meno di effettuare la derivazione in condizioni assai costose per distanza e per modalità di presa. Nè si volle ricorrere all'applicazione di porte, le quali, a parte la suggezione di esercizio che arrecano, se possono migliorare le condizioni di ventilazione del treno, avrebbero per contro peggiorate quelle di respirazione del personale di manutenzione, per il quale appunto si intendeva di provvedere.

Venne altresì presa in esame l'applicazione della trazione elettrica; ma quell'Amministrazione non giudicò opportuno introdurre almeno per ora, pel solo tronco Airolo - Göschenen, questo mezzo di trazione. D'altra parte l'intensità del traffico ormai raggiunta richiedeva di non attendere ulteriormente nell'adottare un provvedimento efficace ed economicamente non troppo oneroso per l'esercizio.

L'Amministrazione della Ferrovia del Gottardo, in base al parere emesso dalla Commissione incaricata di esaminare l'applicazione, fatta nel 1894 in via di esperimento alla Galleria di Tracchia del sistema "Saccardo„ si decise, come è dichiarato nella ricordata Nota di detta Amministrazione, di eseguire l'applicazione alla bocca Nord (Göeschenen) del suddetto sistema. Come rilevasi dalla Tav. 1ª presa dalla Nota medesima [1], l'apparecchio insufflatore è alimentato da due ventilatori a forza centrifuga tipo Ser del diametro di metri 5,00 montati sullo stesso asse e mossi provvisoriamente, come si fece a Tracchia, da una locomotiva opportunamente adattata e con trasmissioni a funi ed ingranaggi.

L'impianto definitivo della forza motrice verrà poi fatto mediante una derivazione dalla Reuss, tosto che siano completamente studiate le condizioni create dalla ventilazione artificiale, in relazione alla lunghezza del sotterraneo, alle esigenze del traffico e della manutenzione. In altre parole la Direzione del Gottardo volle, avanti di far luogo alla derivazione dalla Reuss, determinare, valendosi dell'impianto del motore provvisorio, il grado di miglioramento che otterrà coll'apparecchio Saccardo, mosso in via definitiva da detta derivazione, secondo le modalità di presa già stabilite e tenuto conto della minima portata della Reuss nel luogo designato per la derivazione.

Per tale studio la Società del Gottardo stimò rivolgersi alla Amministrazione della Rete Adriatica, affinchè ne fosse incaricato lo stesso personale che la Direzione dei Lavori di questa Rete aveva adibito agli studî eseguiti nel 1894 a Tracchia e successivamente allo compilazione della relativa memoria tecnica. Lo studio è ora compiuto, e come si vedrà, esso permette appunto di valutare i diversi

---

[1] A detta Tavola si sono aggiunti per parte nostra i particolari delle trasmissioni per servir di guida nel calcolo delle resistenze passive (Vedansi Appunti ecc.), nonchè le disposizioni relative agli apparecchi di esperienza.

effetti di ventilazione in ragione alla scala delle forze impiegate e quindi, implicitamente, quanto coll'impianto eseguito dell'apparecchio Saccardo, possa ripromettersi una volta effettuata la progettata derivazione dalla Reuss.

Gli esperimenti iniziati il giorno 10 Giugno 1899 continuarono senza interruzione a tutto il 20 stesso mese: il coordinamento dei molti dati raccolti e gli studi relativi vennero poi fatti presso gli Uffici centrali di Ancona.

3° Programma di esperienze e studi. – Il programma seguito, nelle esperienze, venne fissato considerando che lo studio di cui trattasi, doveva comprendere i sottoindicati argomenti:

I Determinazione delle pressioni occorrenti a vincere gli attriti che le pareti della Galleria e quelle dei treni oppongono al movimento dell'aria. Tale determinazione richiedeva i seguenti rilievi:

a) Pressione, temperatura ed umidità relativa dell'aria interna alla Galleria;

b) Misura della velocità della corrente naturale ed artificiale a galleria sgombra e durante il passaggio dei treni;

c) Misura della pressione all'imbocco Göschenen sopra l'esterna durante la ventilazione artificiale;

d) Rilievo della lunghezza e velocità media dei treni in Galleria.

II. Valutazione relativa all'effetto pneumatico dell'apparecchio di insufflazione propriamente detto. Per tale determinazione, oltre gli elementi b) e c) si richiedevano:

e) Pressione, temperatura ed umidità relativa dell'aria esterna;

f) Determinazione della pressione nella camera dell'ugello.

III. Valutazione relativa all'effetto meccanico dei ventilatori Ser, richiedente oltre gli elementi e) ed f) anche i seguenti:

g) Determinazione della forza indicata della motrice in corrispon-

denza a diverse velocità dei ventilatori ed ai diversi gradi di apertura della bocca dell'ugello;

h) Determinazione delle resistenze passive del motore e delle trasmissioni.

IV. Determinazione del grado di inquinamento dell'aria in Galleria in corrispondenza a diverse ipotesi di traffico ed a diverse velocità della corrente, e conseguentemente valutazione del grado di miglioramento ottenuto con la ventilazione artificiale in galleria.

Oltre agli elementi a) ed e) occorsero quindi i seguenti:

i) Consumo di combustibile e di acqua delle locomotive dei diversi treni durante la traversata della Galleria;

l) Analisi dei gas uscenti dal fumaiuolo delle locomotive e dell'aria in diversi punti della Galleria;

m) Rilievi delle temperature e del grado di umidità lungo tutto il percorso della Galleria.

In grazia di questi elementi si poterono dedurre i coefficienti che seguono:

1° di attrito dell'aria contro le pareti della Galleria e contro le pareti del treno;

2° di riduzione della velocità della corrente per effetto dei treni;

3° di effetto utile dell'apparecchio Saccardo propriamente detto;

4° di rendimento meccanico dei ventilatori;

5° di effetto utile rispetto alla ventilazione della Galleria;

6° incrementi di: inquinamento, umidità e temperatura dovuti al passaggio di ogni treno.

Vedesi che mercè tale programma, lo studio dell'effetto conseguitosi coll'applicazione del Sistema Saccardo alla Galleria di cui trattasi, risultava completamente esaurito.

4° Organizzazione degli esperimenti — Le osservazioni ed esperienze vennero distribuite nel modo che segue:

a) All'imbocco Göschenen si registrava per ogni treno l'ora in cui entrava in galleria e l'ora in cui usciva, il numero delle locomotive e dei veicoli di cui ciascun treno era costituito e la lunghezza del treno stesso. Per tal modo si determinarono: la lunghezza dei treni, la velocità media colla quale avevano transitato per la galleria, da confrontarsi coi dati di velocità della corrente in Galleria, i quali venivano raccolti da altri osservatori.

b) Nell'interno della Galleria a 500 metri venne stabilito un altro posto di osservazione provveduto di un anemometro Lowne, di un psicrometro a capello di Usteri e Reinacher col relativo termometro.

Per tutta la durata delle esperienze, ad ogni minuto primo si faceva la lettura della velocità della corrente, della temperatura e del grado di umidità dell'aria.

Tali osservazioni raccolte in diagrammi, permisero di tracciare delle curve colle quali a colpo d'occhio rendersi ragione dello stato fisico dell'aria e della velocità della corrente ad ogni istante della giornata (Vedansi Tavole III e IV)

Le velocità della corrente indicate nei diagrammi venivano lette nelle sezioni di osservazione tenendo l'anemometro Lowne in posizione fissa a m: 1,60 sul binario.

Per desumere da tali velocità quelle medie effettive sopra l'intera sezione vennero eseguite apposite esperienze misurando con un anemometro Combes la velocità effettiva nel centro dei diversi scomparti in cui potevasi ritenere divisa la sezione, analogamente a quanto si opera per la determinazione della velocità media dei canali. I coefficienti per la riduzione delle velocità lette nelle velocità medie effettive, sono indicati nel Quadro N° 3; la distribuzione delle velocità nelle sezioni di osservazione risulta dalla Tavola II.

c) Una terza serie di osservazioni veniva fatta all'imbocco Göschenen allo scopo di seguire durante il periodo delle esperienze, le condizioni di funzionamento dei ventilatori e dell'apparecchio "Saccardo" propriamente detto. Gli osservatori adibiti a tali esperienze prendevano nota del numero dei giri del ventilatore, della pressione $\underline{E}$ nella camera d'aria e della corrispondente pressione $\underline{e}$ che si verificava in galleria a circa 70 metri dalla bocca dell'ugello, posizione nella quale si era constatato, mediante opportune esperienze, che l'aria uscita dall'ugello si avviava in modo regolare per entro la Galleria; ossia in cui certamente potevasi ritenere avvenuta la composizione delle velocità nei filetti fluidi, dopo l'urto.

Queste pressioni venivano misurate con manometri ad acqua situati all'imbocco della Galleria e posti in comunicazione, mediante apposite tubazioni, coll'ambiente di cui si voleva conoscere la pressione. Le letture corrispondevano quindi alla differenza di pressione in colonna d'acqua, riferite alla pressione esterna verificantesi all'imbocco Nord del sotterraneo.

Si notò altresì sistematicamente la depressione $\varepsilon$ che si verificava nelle camere di aspirazione che precedono gli occhi dei ventilatori. Tale depressione, in m/m di colonna d'acqua, veniva determinata mediante due manometri ad acqua applicati alle porte delle camere suddette, e le letture rappresentavano la differenza di pressione in confronto della pressione dell'atmosfera esterna.

Nella Tav.a I sono indicate le posizioni dei diversi manometri e delle relative prese di pressione.

Inoltre si registravano la temperatura e lo stato igrometrico dell'aria esterna mediante un termometro ed un psicrometro situati all'ombra, in prossimità dell'edificio dei ventilatori, onde fissar bene in quali condizioni fisiche l'aria veniva insufflata

nella Galleria.

d) Si fecero pure delle indagini sulla temperatura e sullo stato igrometrico dell'ambiente sotterraneo a 500 metri dalla bocca Airolo, a 5 Km: circa dalla bocca medesima ed a metà della Galleria. In seguito poi vennero eseguite determinazioni complete dei detti elementi lungo tutta la Galleria percorrendola in carrello e sulle locomotive.

Esperienze di controllo sulla velocità della corrente furono pure eseguite a 225 m: circa dall'imbocco sud (Airolo), rilevando contemporaneamente i diagrammi della velocità della corrente nelle sezioni di osservazione stabilite ai due imbocchi.

e) Coll'indicatore di pressione si determinò la forza della motrice ricavando una serie di diagrammi in corrispondenza alle diverse velocità del ventilatore, con l'ugello completamente aperto e parzialmente chiuso e completamente chiuso, ed anche coi due ventilatori disinnestati dal resto della trasmissione, allo scopo di determinare la forza effettiva assorbita dalle ruote ventilatrici nelle varie condizioni di funzionamento.

f) Per quanto concerne la composizione chimica dell'aria vennero prelevati dei campioni in varî punti della Galleria, sulle locomotive e nelle garette di coda dei treni con le stesse precauzioni e con gli stessi apparecchi usati negli esperimenti di Fracchia. Tali campioni venivano poi analizzati sul posto mediante l'apparecchio Orsat.

Gli elementi di cui sopra vennero raccolti sia durante la ventilazione artificiale, sia durante quella naturale; ed a proposito della prima occorre notare che, quantunque la motrice a vapore provvisoriamente installata, comunicasse d'ordinario ai ventilatori una velocità di 65 ad 80 giri al 1', tuttavia per completare le esperienze la si fece camminare per alcuni intervalli, e per tutto quel tempo che era possibile, mediante apposito trattamento ed alimentazione del focolare, in modo da ottenere

velocità di 90 ed anche di 100 giri dei ventilatori al minuto primo.

Le esperienze vennero così distribuite, dopo avere nei giorni 10 ed 11 Giugno 1899 predisposti gli apparecchi di osservazione e di misura:

Giorni 12 - 13 e 14 - Rilievi delle temperature e del grado di umidità in diversi punti della Galleria - Rilievo del diagramma della temperatura, del grado di umidità e della velocità della corrente nella sezione a 500 metri dall'imbocco Göschenen;

Giorni 15 e 16 - Rilievi come sopra e della forza indicata assorbita dal ventilatore, dalle trasmissioni e dalla motrice.

Giorno 17 - Rilievi della forza indicata come sopra, i ventilatori funzionando con l'ugello parzialmente e totalmente chiuso;

Giorno 19 - Rilievi della forza indicata assorbita dal ventilatore e dalle trasmissioni a vuoto;

Giorno 20 - Rilievi di temperatura, grado di umidità e velocità come nei giorni dal 12 al 16.

Nel giorno 18, come pure negli altri, si procedè alle analisi chimiche dei gas man mano che venivano raccolti.

Come esempio delle rappresentazioni grafiche, integranti le osservazioni compiute, si sono riportati nella Tav.ª III il diagramma del giorno 13, nel quale la corrente naturale aveva una direzione Nord a Sud, e nella Tav.ª IV, il diagramma del giorno 20, nel quale la corrente naturale era diretta da Sud a Nord. Si noti che il senso della corrente naturale da Airolo verso Göschenen (Sud - Nord) non si ebbe che nell'ultimo giorno delle esperienze (20 Giugno); infatti assai più frequentemente verificasi attraverso quel sotterraneo la corrente Nord - Sud (Vedasi Tav.ª VI)

Per quanto riguarda la velocità della corrente rilevata ai due imbocchi (Vedasi nella Tav.ª IV il diagramma del giorno 20 Giugno dalle ore 13½ alle 16, circa i rilievi della velocità della

corrente nelle sezioni all'imbocco Göschenen ed all'imbocco Airolo), come era da prevedersi, si hanno valori molto prossimi fra loro. Infatti non si osservano nelle relative curve che piccoli spostamenti di tre a quattro minuti. Queste piccole differenze debbono attribuirsi a variazioni nello stato termico dell'aria nel suo tragitto attraverso il lungo tunnel, a fenomeni di elasticità nella trasmissione del movimento di quella massa fluida della lunghezza di 15 Km. Se fosse possibile tener giusto conto di queste diverse cause perturbatrici, e di eliminare gli inevitabili errori di osservazione, i diagrammi delle velocità ai due imbocchi dovrebbero essere eguali.

Nel chiudere il resoconto sugli studi ed esperimenti eseguiti sulla ventilazione artificiale del sotterraneo del S. Gottardo si avverte che alla presente Relazione sono allegati come parte integrante i documenti che seguono:

a) Appunti sulle valutazioni eseguite in base ai dati raccolti.

b) N: 26 Quadri numerici.

c) N: 8 Tavole rappresentanti l'impianto e i diagrammi dei vari fenomeni fisico-meccanici studiati.

5° Conclusioni — Nei quadri numerici e nelle tavole di disegni vennero coordinati tutti gli elementi di osservazione raccolti e tutti quelli dedotti, valendosi principalmente delle considerazioni e delle formule stabilite in occasione del ricordato studio di Saccardo, come venne man mano dichiarato nelle note illustrative dei quadri medesimi.

In questo ultimo studio riguardante la ventilazione del Gottardo, si trovò assai utile per le ulteriori determinazioni di valutare il rapporto $\Phi$ (Quadro N: 7) fra la velocità media effettiva della corrente d'aria che verificasi in galleria, dato l'attuale movimento di treni, e la velocità che si verificherebbe se la Galleria fosse sgombra da treni.

Si procedette inoltre ad un'analisi completa dei molteplici attriti sviluppantisi nei meccanismi e nelle trasmissioni diverse addivenendosi alla valutazione del coefficiente di attrito totale, onde poter dedurre il lavoro passivo del motore sotto carico ed a vuoto (Quadro N.° 10), e così valutare la forza motrice effettivamente assorbita pel movimento dei ventilatori, senza procedere alla applicazione del freno dinamometrico, la quale, nel caso nostro, sarebbe stata oltre ogni dire laboriosa ed ingombrante.

Infine due nuove ricerche sono state costituite dalla determinazione degli incrementi di inquinamento, di temperatura e di umidità dovuti al passaggio di ogni treno (Quadro N.° 24) e dalla rappresentazione grafica dell'accumulamento dei prodotti abbandonati dalle locomotive lungo la Galleria nelle diverse ipotesi di traffico e di ventilazione (Tavola VIII)

In seguito a questo studio sulla ventilazione della Galleria del Gottardo vennero pertanto determinati i seguenti coefficienti:

Coefficiente $\rho$ di attrito contro le pareti della Galleria = 0,027, mentre alla Galleria di Pracchia era = 0,02.

Coefficiente $\rho'$ di attrito contro le pareti del treno = 0,13, mentre alla Galleria di Pracchia era = 0,26.

Coefficiente $\mu$ d'urto dato dalla colonna insufflata dall'ugello (coefficiente dell'apparecchio Saccardo propriamente detto) = 0,69, mentre alla Galleria di Pracchia era = 0,72.

Coefficiente $\Phi$ di riduzione di velocità della corrente da Galleria libera a Galleria ingombra da treni = 0,86.

Coefficiente $\eta$ di rendimento dei ventilatori da 0,51 a 0,57 col variare il numero dei giri da 50 a 100, mentre alla Galleria di Pracchia variava da 0,38 a 0,53 col variare del numero dei giri da 20 a 70.

Si confermò, in occasione del presente studio, la proporzionalità della portata dell'ugello, della differenza totale di pressione, e del lavoro pneumatico totale, rispettivamente al numero dei giri del ventilatore al quadrato ed al cubo del numero medesimo.

Finalmente considerando l'effetto utile per rispetto alla ventilazione della Galleria, poichè nel caso del Gottardo, a differenza di quella di Pracchia, non occorreva preoccuparsi, come si è detto, della ventilazione dei treni, il relativo coefficiente discende da 0,26 a 0,06, quando volendosi produrre una corrente (a galleria libera da treni) di 3 m: al 1", la corrente naturale vari da + 2 a − 2 metri, spendendosi un lavoro meccanico variabile da 179 a 736 HP; spingendo poi la corrente a m: 4,00 nelle indicate condizioni si avrebbe presso a poco uguale variazione nel detto coefficiente, ma con una variazione di forza da 699 a 1427 HP.

Da quanto è detto sopra risulta:

a) che pur disponendo di una forza da 700 a 800 HP, ossia di quanto sembra possa ottenersi dalla Reuss anche in maggiori magre, secondo il progetto della Direzione della ferrovia del Gottardo, occorrerà accontentarsi della ventilazione naturale quando la corrente spira da Airolo con velocità superiori ai due metri;

b) che l'impianto come venne eseguito migliora notevolmente le condizioni dell'aeramento di tutta la Galleria, ma che converrebbe completarlo coll' aggiunta di un secondo ugello agente per aspirazione, disponendo le cose in modo da poter possibilmente servirsi per l'aspirazione degli stessi attuali ventilatori.

Così si avrebbe modo di trar sempre profitto della corrente naturale in qualunque dei due sensi essa spiri.

Con tale aggiunta il sistema Saccardo permetterebbe di conseguire agevolmente una corrente di 4 m: colla forza dispo.

nibile dalla Reuss, secondo il progetto di quell'Amministrazione, anche quando la corrente naturale discenda al disotto di un metro, conseguendosi nella ventilazione lo stesso miglioramento che si può avere ora, cioè un grado di accumulamento dei prodotti della combustione dovuto al più ad 8 treni, quando pure il movimento dei treni fosse la metà di più del massimo attuale (Vedansi i diagrammi IV e VI della Tav.ª VIII)

Inoltre si avrebbe il vantaggio di migliorare le condizioni di aeramento dell'imbocco Sud, quando, la corrente spirando da Sud a Nord, potesse agire l'apparecchio Saccardo per aspirazione.

Si potrebbe anche mettere avanti l'idea di un secondo apparecchio all'imbocco Airolo; in tal caso bisognerebbe che la forza necessaria potesse aversi o da un impianto idraulico o da una condotta elettrica, per poterla mettere in azione prontamente ogni qual volta la corrente naturale venisse a spirare da Sud a Nord. Sembrerebbe però preferibile specialmente dal lato dell'esercizio un impianto unico a Göschenen completato nel modo sopra accennato.

c) In un tunnel lungo come quello del Gottardo e percorso giornalmente da tanti treni, non è possibile, anche colla ventilazione artificiale, impedire che per oltre la metà della Galleria l'atmosfera si saturi di umidità. Però colla ventilazione artificiale si ottiene il vantaggio ragguardevole di diminuire considerevolmente la quantità di acqua allo stato di precipitazione, alla cui azione, combinata a quella dell'acido carbonico emesso dalle locomotive e che si scioglie in questa fina pioggia, è dovuta principalmente la corrosione dell'armamento.

d) Finalmente occorre ricordare che non di rado verificavasi al Gottardo il caso di una corrente naturale debole spirante alternativamente nella stessa giornata da Nord a Sud e da Sud a Nord (Vedansi tratti grossi neri nella Tav.ª VI), talchè nella parte centrale del tunnel restava una massa di prodotti abban

donati dalle Locomotive, che non poteva avere sfogo nè da un imbocco nè dall'altro. Conseguentemente nell'interno del sotterraneo veniva a stabilirsi uno stato di cose assolutamente pernicioso per le squadre adibite alla manutenzione e sorveglianza del binario. Un simile fenomeno, generante asfissie si può ora evitare con tutta sicurezza avendosi mezzo di produrre sempre la corrente in un senso e di una certa intensità, ed è questo già un notevole vantaggio conseguitosi nell'aeramento di quel sotterraneo mercè l'impianto dell'apparecchio "Saccardo„

---

## *APPUNTI*
## *sui calcoli effettuati in base ai dati raccolti*

# Significato dei simboli adottati nei calcoli

| Simboli | | Unità di misura | Significato e valore numerico | |
|---|---|---|---|---|
| Dimensioni della Galleria | $L$ | m. | Lunghezza totale della Galleria | m. 14984 |
| | $L_1$ | | Lunghezza della Galleria a partire dall'orificio del tubo manometrico (Vedere Tav.a I) fino all'imbocco Airolo | „ 14895 |
| | $P$ | | Perimetro della sezione della Galleria | „ 25 |
| | $D$ | | Diametro medio della sezione della Galleria $\frac{4\Omega}{P}$ | „ 6,8 |
| Dimensioni dell'ugello | $\Omega$ | m² | Area della sezione normale della Galleria | m² 42,4 |
| | $\omega$ | | Area della bocca normale di efflusso dell'ugello | „ 11,4 |
| | $\omega_0$ | | Area della minima sezione dietro l'ugello determinata dal contorno interno dell'ugello medesimo | „ 32,6 |
| | $\theta$ | gradi | Angolo d'inclinazione della bisettrice del getto sull'asse della Galleria | 30° |
| Dimensioni dei treni | $l$ | m. | Lunghezza totale dei treni | variabile |
| | $p$ | | Perimetro della sezione trasversale media dei treni | m. 10,00 |
| | $S$ | m² | Area della sezione trasversale media dei treni | m² 6,25 |
| Velocità | $V$ | m. al 1" | Velocità effettiva della corrente in Galleria | |
| | $V_1$ | | Velocità media approssimativa della corrente in Galleria, tenuto conto del passaggio dei treni secondo l'orario in vigore. | |
| | $V_0$ | | Velocità della corrente naturale in Galleria (supposta sgombra di treni). | |
| | $W$ | | Velocità media dei treni in Galleria. | |
| | $n$ | giri al 1' | Velocità angolare dei ventilatori, motrici, anemometri ecc. | |
| Portate | $Q$ | m³ al 1" | Portata dei ventilatori misurata alla bocca dell'ugello. | |
| | $q$ | | Portata del rigurgito dietro l'ugello. | |
| Pressioni | $E$ | m/m di colonna d'acqua | Pressione nella camera dell'ugello rispetto all'esterna | |
| | $\varepsilon$ | | Depressione nella camera d'aspirazione dei ventilatori rispetto all'esterna. | |
| | $e$ | | Pressione che si forma davanti all'ugello in causa dell'urto | |
| | $\epsilon$ | | Pressione (o depressione) che si forma dietro l'ugello in causa del rigurgito (o dell'aspirazione). | |

| Simboli | | Unità di misura | Significato e valore numerico |
|---|---|---|---|
| Lavori | $L_p$ | HP ossia cavalli vapore da 75 Kg. al 1'' | Lavoro pneumatico misurato alla bocca dell'ugello |
| | $l_p$ | | Lavoro pneumatico di aspirazione dei ventilatori |
| | $L'_p$ | | Lavoro pneumatico totale, tenuto conto di quello di aspirazione dei ventilatori. |
| | $L_e$ | | Lavoro effettivo motore, sull'asse dei ventilatori. |
| | $L_u$ | | Lavoro utile rispetto all'effetto di ventilazione |
| | $\gamma$ | Kg. per m³ | Peso dell'aria (Quadro 1) |
| Coefficienti | $\rho$ | valori assoluti | Coefficiente di attrito dell'aria contro le pareti della Galleria (Quadro 6) |
| | $\rho_1$ | | Coefficiente di attrito dell'aria contro le pareti del treno (Quadro 8) |
| | $\Phi$ | espressi in frazione rispetto all'unità | Coefficiente di riduzione delle velocità della corrente in Galleria per effetto del passaggio dei treni (Quadri 7) |
| | $\mu$ | | Coefficiente di effetto utile dell'urto nell'apparecchio Saccardo (Quadro 9) |
| | $\eta$ | | Coefficiente di rendimento meccanico dei ventilatori (Quadri 15 e 16) |
| | $\eta_1$ | | Coefficiete di effetto utile rispetto al lavoro di ventilazione (Quadro 19) |
| | $\Psi$ | litri di CO+CO² per m³ d'aria | Coefficiente di inquinamento (Quadri 24 e 25) |
| | $u$ | grammi di vapore d'acqua per m³ d'aria | Coefficiente di umidità } incrementi (Quadri 24 e 25) |
| | $\tau$ | gradi centig. | Coefficiente di temperatura } incrementi (Quadri 24 e 25) |

§.1° Determinazione del coefficiente $\rho$ di attrito dell'aria contro le pareti della galleria. Il calcolo diretto del valore del coefficiente $\rho$ per la Galleria del Gottardo venne fatto applicando le formole della Parte II §.2 dello Studio di Pracchia ai dati che si possono desumere dai diagrammi rilevati al Gottardo. Per tale determinazione occorre di avere la pressione e prodotta dal ventilatore nella Galleria in prossimità dell'imbocco, la velocità V della corrente che si forma in Galleria per effetto di detta pressione ed infine, la velocità $V_0$ della corrente naturale che si avrebbe se il ventilatore non funzionasse, tutti questi elementi dovendo essere ricavati senza la presenza di treni in Galleria.

Quantunque per il caso della Galleria del Gottardo, continuamente attraversata da treni, non fosse agevole avere molti di tali elementi, tuttavia fu possibile dai diagrammi dei giorni 13 e 20 Giugno ricavare otto terne di dati corrispondenti ai requisiti richiesti, e con i valori della pressione e abbastanza elevati perchè $\rho$ si potesse ricavare con sufficiente approssimazione. Si ottenne in media $\rho = 0{,}027$, come rilevasi dal Quadro 6, mentre a Pracchia ed al Pratolino erasi ottenuto 0,020. Ciò si spiega per la maggiore scabrosità che presentano le pareti della Galleria del Gottardo eseguite, con paramento grossolano, in confronto di quella che presentano le pareti delle altre due suaccennate Gallerie, eseguite con paramento liscio.

L'influenza della scabrosità delle pareti sulla velocità della corrente risulta evidente dalle figure della Tavola II. La velocità della corrente, in tutte le esperienze fatte, aumenta dal basso verso l'alto, e ciò perchè la massicciata e le pareti dei piedritti a paramento grossolano, presentano delle superfici assai scabrose, laddove lungo il contorno del vôlto lavorato a conci regolari, la scabrosità è molto minore. Nelle sezioni esaminate nella Galleria di Pracchia le differenze di velocità sono assai minori e ad ogni

modo i filetti più veloci sono distribuiti piuttosto verso il nucleo centrale che verso il cielo della Galleria.

Anche le misure barometriche che da tempo la Società del Gottardo fa eseguire nelle Stazioni di Airolo e di Göschenen, opportunamente corrette dall'effetto della temperatura e del dislivello e completate col rilievo della velocità della corrente naturale in Galleria, avrebbero potuto fornire qualche utile indizio sul valore del coefficiente $\rho$. Infatti nel Quadro 1 si sono raccolte e rettificate le letture barometriche eseguite ai due imbocchi della Galleria durante i giorni delle esperienze e messele a confronto con le differenze di pressione fra gli imbocchi, desunte dalla velocità della corrente naturale, si vede che gli squilibri di pressione determinati nei due modi seguono la stessa legge, per quanto riguarda il segno, ed in alcuni giorni hanno valori abbastanza vicini. Naturalmente per poter fare delle deduzioni attendibili dai dati barometrici occorrerebbe che i due strumenti fossero di grande precisione e venissero scrupolosamente rettificati in modo da avere la approssimazione nelle letture differenziali del decimo di millimetro od anche del quinto, ciò che non sembra difficile ad ottenersi.

Inoltre, quando il dislivello fra gli imbocchi è notevole si dovrebbe tenere conto anche della differenza di peso fra la colonna d'aria interna e quella esterna, in relazione alle differenze di temperatura e del grado di umidità.

Nel caso della Galleria di Tracchia, lunga meno di tre chilometri, tale sistema non era applicabile perchè gli squilibri massimi di pressione fra gli imbocchi avrebbero a malapena raggiunti i $^6/_{10}$ di m/m in colonna di mercurio, e d'altra parte si avevano a disposizione altri mezzi d'indagine ben più delicati e comodi.

Ma quando si tratti di gallerie di notevole lunghezza e con gli imbocchi diversamente orientati, come appunto quella del Gottardo (nella quale si verificano squilibri di pressione fra gli imbocchi perfino di oltre 3 m/m. in colonna di mercurio) le osservazioni barometriche possono rendere utili indizi nello studio di un progetto di ventilazione; anzi si ritiene che usando

le opportune cautele, sarebbe possibile non solo determinare con sufficiente approssimazione il coefficiente $\rho$, ad esempio nella Galleria del Cenisio, prima ancora di eseguire l'impianto di ventilazione artificiale e senza ricorrere al sistema della porta di chiusura, ma che sarebbe altresì agevole rilevare a priori quale sarà l'andamento e l'intensità approssimative delle correnti d'aria in una Galleria non ancora aperta all'esercizio, come ad esempio quella del Sempione.

## §: 2°. Determinazione del coefficiente di attrito $\rho_1$ dell'aria contro le pareti del treno e del coefficiente approssimativo $\Phi$ di riduzione di velocità della corrente in Galleria

_. Si è visto nella Parte III dello studio di Pracchia che se in una Galleria, nella quale ad un certo momento si ha una corrente naturale od artificiale V, entra un treno, questo produce davanti a sè una compressione e dietro un richiamo d'aria i cui effetti sommandosi od opponendosi a quelli della corrente naturale producono un acceleramento od un rallentamento od anche l'inversione della corrente stessa. Nello studio anzidetto (pag.e 52 _ 53) si stabilirono per i diversi casi le formole da applicarsi per determinare la variazione che il movimento di un treno produce sulla corrente V, nelle quali formole si veniva ad introdurre il coefficiente $\rho_1$ di attrito dell'aria contro le pareti del treno; il valore numerico di $\rho_1$, per la Galleria di Pracchia ad un solo binario, e per treni della composizione ivi ammessa, risultò di 0,26.

Introducendo nelle formule anzidette i valori del Quadro N: 8, ricavati dai diagrammi delle esperienze del Gottardo, risulta che per le Gallerie a doppio binario, percorse da treni della composizione ammessa su quella Linea, il coefficiente $\rho_1$ si riduce mediamente a 0,13.

Conoscendosi tale coefficiente numerico si potrebbe ora determinare caso per caso la variazione di velocità che i diversi treni producono sulle correnti di intensità differente. Ma simile ricerca, dato l'orario in vigore sulla Linea del Gottardo, sarebbe assai laboriosa. Siccome poi il presente studio ha per iscopo principale la determinazione dei diversi elementi per la ventilazione artificiale nelle attuali condizioni di traffico, così per semplicità si è preferito determinare il rapporto pratico $\Phi$

che esiste fra la velocità media effettiva $V_1$ della corrente ricavata dai diagrammi delle esperienze mediante l'area racchiusa dalla linea rossa (Vedansi Tav.e III e IV) e la velocità V che avrebbe avuto la corrente stessa se la Galleria fosse sempre rimasta sgombra dai treni e che è data dall'area racchiusa dalla linea azzurra continua. Tale rapporto $\Phi$ risultò abbastanza costante nei diversi giorni di esperienza (Quadro 7) e può ritenersi in media, per la Galleria del Gottardo e per l'orario diurno attuale, di 0,86. Perciò nel presente studio in via di approssimazione si riterrà che la velocità media della corrente in Galleria per effetto del passaggio dei treni venga diminuita nel rapporto di 1 a 0,86 cioè $V_1 = \Phi V = 0,86 V$.

## §. 3°. Determinazione del coefficiente d'urto $\mu$

— L'Apparecchio Saccardo può ritenersi una vera macchina ad urto. Nell'impianto al Gottardo il getto uscente dall'orificio dell'ugello dopo che ha colpito la colonna d'aria da mettersi in movimento nella Galleria, perdendo nell'urto la maggior parte della propria velocità iniziale, si ripiega sopra sè stesso e la quantità di fluido esuberante rigurgita dal prossimo imbocco. Non si deve però ritenere che questo rigurgito costituisca una perdita di effetto utile e meno ancora un'imperfezione dell'apparecchio, poichè l'aria che esce a tergo dell'ugello per il fatto che, a spese della propria energia, ha contribuito a dare un impulso alla colonna che deve vincere le resistenze della Galleria, ha reso un lavoro utile.

Variando le dimensioni dell'apparecchio da applicarsi ad una determinata Galleria e la pressione a cui deve venir spinta l'aria attraverso l'ugello, si può ottenere che la portata del rigurgito sia maggiore, minore o nulla od anche che vi sia aspirazione: ma questo non muta per nulla il funzionamento essenziale dell'apparecchio ed all'atto pratico la scelta delle relative dimensioni è invece consigliata da ragioni di spazio disponibile, di economia e semplicità di esercizio.

Premesso questo per togliere ogni preoccupazione circa l'entità del rigurgito d'aria, che nell'impianto del Gottardo, come scorgesi dalla 8.a colonna del Quadro 9, assume proporzioni ragguardevoli, si rammen-

teranno ora le equazioni, che servono a stabilire i termini del problema e che sono in pieno accordo con i dati sperimentali, come si dimostrò con lo studio di Pracchia, siavi o non siavi rigurgito d'aria dietro l'ugello.

La prima di dette equazioni venne denominata, nello studio di Pracchia Parte IV, equazione di spinta. Osservando che il getto fluido uscente dall'ugello colla velocità che si indicherà $V_u$, viene ad urtare contro un nucleo di aria continuamente rinnovantesi, come avviene ad esempio del getto d'acqua che investe le successive palette di una ruota idraulica, l'equazione della spinta si esprime così: $e \mp e_0 = 2\mu \frac{\gamma}{g} \frac{\omega}{\Omega} V_u (V_u \cos\theta \mp V)$,[1] ove $\mu$ è il coefficiente di effetto utile dell'urto; $e \mp e_0$ è l'incremento di pressione all'origine della Galleria prodotto dall'urto delle masse fluide; $\frac{\gamma}{g}\omega V_u$ è la massa urtante; $V_u \cos\theta \mp V$ è la velocità relativa d'urto, essendo $\theta$ l'angolo che la direzione del getto fa coll'asse della Galleria.

La seconda è l'equazione di continuità, la quale esprime che la quantità d'aria $\Omega V$ che entra in Galleria è la somma algebrica di quella soffiata attraverso l'ugello $\omega V_u = \omega\sqrt{\frac{2g}{\gamma}(E \mp e_0)}$ e di quella rigurgitata od aspirata dall'imbocco prossimo all'ugello stesso $\omega_0\sqrt{\frac{2g}{\gamma}e_0}$; questa equazione si esprime pertanto così:

$$\Omega V \sqrt{\frac{\gamma}{2g}} = \omega\sqrt{E \mp e_0} \pm \omega_0\sqrt{e_0}$$

Dai diagrammi delle esperienze del Gottardo, come erasi già fatto per quelli delle esperienze di Pracchia, si è potuto ricavare una serie di valori corrispondenti di E, e, V, introducendo i quali nelle due equazioni anzidette e procedendo alla relativa risoluzione, si sono ottenuti i valori corrispondenti di $e_0$ e quelli del coefficiente d'urto $\mu$. Tale coefficiente, come rilevasi dal Quadro 9, è risultato in media di 0,69, mentre, applicando lo stesso procedimento alle esperienze di Pracchia si otterrebbe $\mu = 0,72$.[2] Vedesi dunque che quan-

(1) Nello studio di Pracchia si era sviluppata la teoria dell'apparecchio iniettore Saccardo ammettendo che il getto urtasse contro un nucleo d'aria che si sposta con la velocità V della corrente in galleria; quindi la velocità della massa urtante risultava $(V_u \mp V)$. Ma il Sig. Ingr. Vicaire Ispettore Generale delle Miniere a Parigi fece opportunamente osservare che invece potevasi ammettere che la massa di fluido urtante avesse il valore $\frac{\gamma}{g} V_u \omega$, ossia che il nucleo di aria urtato si rinnovasse continuamente davanti al getto; e con tale modificazione si arriva a stabilire l'indicata equazione per la spinta.

(2) Colla teorica dell'apparecchio iniettore svolta nello studio sulle esperienze di Pracchia (Parte VI), si erano ottenuti tre distinti valori pel coefficiente $\mu$ a seconda della direzione della corrente. Applicando la teoria rifatta colla ricordata equazione di spinta e ponendo l'angolo $\theta = 24°$ che la bisettrice delle pareti dell'ugello forma coll'asse della Galleria, anzichè l'angolo $\theta = 9°$ che la parete esterna forma con l'asse stesso, si ottennero per il coefficiente $\mu$ dei valori assai concordanti per tutti i 24 gruppi delle esperienze di Pracchia e la cui media è 0,72.

tunque nel caso della Galleria del Gottardo il fenomeno dell'urto debba ripartirsi sopra un nucleo fluido di aria quasi doppia di quella della Galleria di Pracchia, pure il coefficiente di effetto utile si mantiene sempre molto elevato e praticamente assai prossimo a quello già constatato in quelle prime esperienze.

Una piccola differenza a svantaggio dell'apparecchio del Gottardo è poi anche spiegabile dal fatto che, dato il grande sviluppo del contorno dell'ugello, le velocità nei diversi scomparti sono meno uniformi di quelle che si avevano a Pracchia, come si può rilevare confrontando i Quadri N: 4 con le analoghe Tabelle III dello Studio di Pracchia. Tale ripartizione delle velocità però, anche nel caso dell'impianto del Gottardo, può ritenersi soddisfacente se si tien conto delle non lievi difficoltà da superarsi per dirigere e suddividere la corrente d'aria uscente dal canale dei ventilatori, lungo un contorno dello sviluppo di circa 24 metri.

Come è facile immaginarsi, in vicinanza della bocca di efflusso dell'ugello l'aria ha un movimento turbinoso; soltanto ad una certa distanza da detta bocca di efflusso i filetti fluidi cominciano a disporsi parallelamente all'asse della Galleria con velocità uniforme.

Dalla misura delle velocità della corrente in corrispondenza a ciascuna delle quattro rotaie ed in sezioni man mano più distanti dalla bocca dell'ugello (Quadri N: 5) si rileva che per piccole velocità del ventilatore (60 giri – 1ª Esperienza) la corrente assume un andamento abbastanza uniforme in un tratto di circa m: 40, e per velocità maggiori (100 giri – 2ª Esperienza) in un tratto di almeno m: 50.

Con i dati così ricavati dalle esperienze che, come si disse, non si poterono spingere a velocità dei ventilatori superiori ai 100 giri al minuto, si ha ora il modo di calcolare la pressione che occorre di avere nella camera dell'ugello per ottenere in Galleria una corrente di una determinata velocità, con la presenza dei treni e quando la corrente naturale assuma un valore qualsiasi anche all'infuori di quelli esaminati e perciò si richieda un numero di giri dei ventilatori superiore a quelli che si poterono avere nelle esperienze eseguite. Nel Quadro N: 19 si calcolarono

pertanto le pressioni E della camera dell'ugello, e all'origine della galleria ed $e_0$ di rigurgito, e le portate Q del getto e q del rigurgito per avere una corrente Nord - Sud di 3 m: al 1" e di 4 m: al 1" a Galleria libera da treni (o rispettivamente di 0,86 x 3 = 2,58 al 1" e di 0,86 x 4 = 3,44 al 1" con Galleria percorsa dai treni dell'orario attuale) quando la corrente naturale assuma diversi valori compresi fra 3 m: al 1" Nord - Sud e 3 m: al 1" Sud-Nord. Rimane ora da determinarsi la forza motrice assorbita sull'asse dei ventilatori ed i vari elementi degli stessi per avere le portate e le pressioni corrispondenti ai diversi effetti di ventilazione che si vogliono ottenere; si ricorse a tal'uopo a semplici rilievi coll'indicatore di pressione ed applicando il procedimento qui appresso descritto.

## §: 4°. Determinazione della forza motrice effettiva.

Si ricavarono i diagrammi del lavoro indicato facendo funzionare i due ventilatori ad ugello completamente aperto e con la velocità da 50 a 100 giri al minuto: con le stesse velocità si ricavarono i diagrammi del lavoro indicato essendo disgiunti i due ventilatori, ossia essendo semplicemente in movimento la motrice e le trasmissioni indicate nella Tav.^a 1.^a

La prima serie di diagrammi comprendeva il lavoro assorbito dai ventilatori, dalle trasmissioni sotto carico e quello che assorbirebbe la motrice lavorando a vuoto. La seconda serie di diagrammi comprendeva il lavoro a vuoto assorbito dalla motrice e quello a vuoto assorbito dalle trasmissioni. Mediante le formole indicate nel Quadro 10 si sono depurate le forze risultanti dalla prima serie di esperienze del lavoro passivo delle trasmissioni sotto carico, e le forze risultanti dalla seconda serie di esperienze del lavoro passivo delle trasmissioni a vuoto. La differenza fra il lavoro netto risultante della prima serie e di quello pure netto risultante dalla seconda serie danno il lavoro netto effettivo assorbito dall'asse dei ventilatori in corrispondenza alle diverse velocità come venne indicato nei Quadri 11 e 12.

Per determinare le equazioni caratteristiche dei ventilatori del Gottardo venne letta in corrispondenza di ciascuna velocità del ventilatore la pressione E nella camera d'aria dell'ugello, la velocità V della corrente

in Galleria durante l'esperienza e la depressione $\varepsilon$ nelle camere di aspirazione dei ventilatori. Mediante le formole stabilite nello studio di Pracchia, Parte V §. 3, si sono dedotti i valori della portata $Q$ alla bocca dell'ugello, del rigurgito $q$, del lavoro pneumatico di compressione $L_p$ e di aspirazione $l_p$.

Inoltre si calcolarono i rapporti $\frac{Q}{n}$, $\frac{E}{\gamma n^2}$, $\frac{\varepsilon}{\gamma n^2}$, $\frac{L_p}{\gamma n^3}$ e $\frac{l_p}{\gamma n^3}$, i quali, come si scorge dal Quadro 15, risultarono assai prossimamente costanti in corrispondenza alle diverse velocità. Con ciò restano confermate ancora una volta le leggi di proporzionalità delle portate, delle pressioni e dei lavori pneumatici, rispettivamente alla prima, seconda e terza potenza del numero dei giri del ventilatore.

Adottando il valor medio dei rapporti sopra indicati, le formole che danno i diversi elementi dei due ventilatori presi assieme in relazione al numero dei giri, sono le seguenti:

| | | |
|---|---|---|
| Portata complessiva ........................ | $Q = 3{,}14\, n$ | |
| Pressione nella camera dell'ugello ........................ | $E = 0{,}00398\, \gamma n^2$ | Differenza di pressione totale $E' = 0{,}00456\, \gamma n^2$ |
| Depressione nella camera di aspirazione dei ventilatori | $\varepsilon = 0{,}00058\, \gamma n^2$ | |
| Lavoro pneumatico di compressione ........................ | $L_p = 0{,}000166\, \gamma n^3$ | Lavoro pneumatico totale $L_t = 0{,}0001904\, \gamma n^3$ |
| Lavoro pneumatico di aspirazione ........................ | $l_p = 0{,}0000244\, \gamma n^3$ | |

Si scorge subito dalle espressioni del lavoro pneumatico che nel lavoro di aspirazione, il quale si fa in pura perdita per le esigenze della copertura del fabbricato, va consumato il $\frac{0{,}0000244}{0{,}0001904} = 12{,}8\ \%$ del lavoro totale.

Assai notevole è la concordanza ottenuta fra i presenti risultati e quelli che si ebbero per il ventilatore di Pracchia, specialmente se si considera la estrema delicatezza di tal genere di misure sopra apparecchi di potenzialità così considerevole.

Le dimensioni del ventilatore di Pracchia differivano assai poco da quelle di ciascuno dei ventilatori del Gottardo come risulta dal seguente prospetto:

| Elementi del Ventilatore | Simbolo | Pracchia | Gottardo |
|---|---|---|---|
| Raggio esterno della ruota ad alette | $r_1$ | 2,45 | 2,50 |
| Raggio dell'orificio di aspirazione | $r_0$ | 1,20 | 1,175 |
| Lunghezza delle alette in corrispondenza dell'orificio di aspirazione | $b_0$ | 0,53 | 0,53 |
| Angolo delle alette in corrispondenza all'orificio di aspirazione | $\beta$ | 60° | 64° |
| Angolo delle alette in corrispondenza del circolo esterno | $\delta$ | 130° | 126° |
| Espressione della portata | Q | 1,424 n | $\frac{3.14}{2} n = 1{,}57n$ |
| Espressione del salto totale di pressione | $E = E + \mathcal{E}$ | $0{,}00427\,\gamma n^2$ | $0{,}00456\,\gamma n^2$ |

Tuttavia volendo tener conto anche di queste piccole differenze, le costanti del ventilatore di Pracchia per poter essere paragonate con quelle del Gottardo, secondo la teoria del Ser, dovrebbero venir ridotte proporzionalmente ai seguenti coefficienti:

per la costante della portata $\quad r_0^2 \operatorname{tg} \beta$

per la costante della pressione $\quad r_1^2 \left(1 - \frac{r_0}{r_1} \frac{\cos \delta}{\cos \beta}\right)$

Si avrebbe quindi:

Coefficiente della portata per il Gottardo

$$1{,}424 \times \frac{1{,}175^2 \operatorname{tg} 64°}{1{,}20^2 \operatorname{tg} 60°} = 1{,}62$$ invece di 1,57 ottenuto sperimentalmente.

Coefficiente per la differenza di pressione per il Gottardo

$$0{,}00427 \frac{2{,}50^2 \left(1 - \frac{1{,}175}{2{,}50} \frac{\cos 126°}{\cos 64°}\right)}{2{,}45^2 \left(1 - \frac{1{,}20}{2{,}45} \frac{\cos 130°}{\cos 60°}\right)} = 0{,}00445$$ invece di 0,00456 ottenuto sperimentalmente

Si vede quindi che il divario non supera il 3%.

## §. 5°. Rendimento meccanico dei ventilatori

— Il coefficiente di rendimento dei ventilatori (rapporto fra il lavoro pneumatico totale fornito ed il lavoro effettivo assorbito dall'albero dei ventilatori) nelle esperienze del Gottardo risultò variabile in modo un po' saltuario dal 51% al 57% (colonna

12 Quadro 15) col variare il numero dei giri da 50 a 100 al minuto primo.

Per il ventilatore di Pracchia tale coefficiente variò in modo più graduale da 38% a 53% (ivi comprese anche le resistenze passive della trasmissione a cigna) variando il numero di giri da 20 a 70. Dall'andamento graduale che aveva subito il coefficiente di rendimento meccanico col crescere della velocità si era dedotto che probabilmente detto coefficiente entro certi limiti avrebbe seguita una legge lineare che si poteva rappresentare con l'equazione

$$\eta = 0,31 + 0,003\,n$$

Applicando questa formola al caso dei ventilatori del Gottardo si sarebbero dovuti ottenere i coefficienti di rendimento indicati nella colonna 13 del Quadro 15, che sono alquanto superiori a quelli ottenuti sperimentalmente.

Ma si deve considerare che sul rendimento meccanico di un ventilatore ha grande influenza l'area dell'orificio di efflusso. Ora, mentre a Pracchia detta area era di m² 4,9, al Gottardo per ciascun ventilatore si aveva $\frac{m^2\ 11,4}{2} = 5,70$. D'altra parte nelle esperienze che si fecero al Gottardo con l'orificio dell'ugello parzialmente chiuso coll'area di $\frac{m^2\ 8,8}{2} = 4,40$, che più si avvicina a quella del ventilatore di Pracchia, si ebbe un rendimento del 63% a 100 giri, invece del 61% che darebbe la suddetta equazione; risultati invero assai concordanti, tanto più se si tien conto che il coefficiente stabilito pel ventilatore di Pracchia andrebbe un po' aumentato per depurarlo dalle resistenze passive della trasmissione a cigna. Si nota però che per prudenza nel calcolo della forza motrice assorbita dai ventilatori, per velocità superiori a quelle sperimentate, si terrà il coefficiente 57%, che può ritenersi ancora soddisfacente per ventilatori a bassa pressione.

In base alle considerazioni esposte e tenendo presenti i risultati che si ottennero al Gottardo restringendo maggiormente l'orificio di efflusso (Vedere Quadro 16 e Diagramma N°4 Tav. V) sembra potersi affermare che riducendo l'orificio di efflusso nell'apparecchio impiantato al Gottardo fino al limite assegnato all'apparecchio di Pracchia, si avrebbe un risparmio nel consumo di forza motrice, a parità di lavoro pneumatico utile.

Così ad esempio si è visto che facendo funzionare i ventilatori a 100 giri con l'ugello completamente aperto si spendevano 369 HP effettivi sull'asse dei ventilatori medesimi, e se ne raccoglievano 185,4 di lavoro pneumatico utile alla bocca dell'ugello, mentre che in analoghe condizioni, restringendo la bocca di efflusso a m² 8,8, si spendevano 302 HP e se ne raccoglievano 176,5 alla bocca dell'ugello con evidente risparmio di forza motrice. Restringendo ulteriormente la bocca dell'ugello, accenna ad aumentare ancora il rendimento, ma diminuisce sensibilmente la potenzialità dell'impianto, poichè il lavoro raccolto alla bocca dell'ugello si riduce per esempio a 154 HP ventilando a 100 giri e riducendo la bocca di efflusso dell'ugello a 6 m².

Concludendo, l'area assegnata alla bocca dell'ugello nell'impianto del Gottardo sembra talpoco eccessiva; è probabile però che aumentando la velocità dei ventilatori oltre i 100 giri, come sarà dopo l'impianto definitivo, risulti conveniente l'orificio quale ora si trova, poichè la spesa di forza motrice sarebbe è vero più grande, ma si potrebbe avere a disposizione un mezzo più potente per produrre, in caso di bisogno, una energica ventilazione.

Ad ogni modo sembrerebbe opportuno applicare delle saracinesche alle bocche inferiori dell'ugello, onde mantenerle chiuse, quando non occorra una eccezzionale ventilazione.

Nel Quadro 18 si sono calcolati i diversi elementi dei ventilatori del Gottardo, in corrispondenza a 110, 120 e 130 giri al minuto, che hanno servito per prolungare le curve caratteristiche dei diagrammi N: 3 della tavola V oltre i limiti delle esperienze. Le formole caratteristiche trovate più sopra servirono anche per determinare nel Quadro 19 gli elementi dei ventilatori e la forza motrice assorbita dall'albero dei medesimi per ottenere una corrente di 3 o di 4 m: al 1" a galleria senza treni, in diverse ipotesi della corrente naturale.

§: 6°. Effetto utile di ventilazione — Oltre al coefficiente $\mu$ di effetto utile d'urto che caratterizza l'apparecchio iniettore Saccardo ed al coefficien-

te $\eta$ di rendimento meccanico della ruota ventilatrice, il quale permette di valutare il grado di convenienza del tipo di centrifuga adottato, interessa di prendere in esame il coefficiente di effetto utile $\eta'$ rispetto alla ventilazione in Galleria, il quale permette di giudicare se l'applicazione dell'apparecchio Saccardo in un determinato impianto, venne fatta nelle migliori condizioni per ottenere col minor dispendio possibile un buon effetto di ventilazione.

Nello studio di Fracchia (Parte IV §: 8) il coefficiente $\eta'$ di effetto utile della ventilazione rispetto all'ambiente della Galleria (per la Galleria del Gottardo non è il caso di preoccuparsi della ventilazione dei treni) è dato dal rapporto fra il lavoro pneumatico corrispondente alla variazione ottenuta nella velocità assoluta della corrente ed il lavoro pneumatico speso alla bocca dell'ugello per ottenere tale variazione. Risulta da questa definizione che il coefficiente $\eta'$ può essere anche nullo o negativo. Infatti se avendosi in Galleria una corrente naturale di 3 m: di velocità e soffiando col ventilatore non si riescisse, per esempio, che ad invertirla col valore di soli 2 m:, è evidente che rispetto alla ventilazione della Galleria non si sarebbe fatto che peggiorare le condizioni anzichè migliorarle: o, ciò che torna lo stesso, il rendimento sarebbe stato negativo: che se poi si forzasse la marcia del ventilatore fino ad ottenere una corrente artificiale pure di 3 m: al 1", ma in senso opposto a quella naturale, il vantaggio ottenuto, o, ciò che torna lo stesso, il rendimento della ventilazione, sarebbe stato nullo.

Nel Quadro 19 si sono indicati i valori del coefficiente $\eta'$ calcolati nel modo espresso. Come era a prevedersi, tali valori vanno rapidamente diminuendo quando la corrente naturale, preesistente in Galleria, va assumendo valori di segno contrario ed abbastanza prossimi a quelli della corrente da prodursi con la ventilazione, e diventa nullo quando l'effetto della ventilazione si riduce alla semplice inversione della corrente colla stessa velocità. Quest'ultimo caso nella pratica non si verificherà mai, ma potranno invece verificarsi i casi prossimi. Ossia ad esempio: avendosi una corrente da Airolo a Göschenen di 2 m: al 1" e

volendola portare a 4 m: da Göschenen ad Airolo, per migliorare le condizioni di aerazione, si dovrebbe spendere una forza di 1427 HP con un coefficiente di rendimento $\eta' = 0,09$; mentre ne sarebbero bastati 699 HP con un coefficiente $\eta' = 0,19$, se non si fosse trattato che di rinforzarla da 2 a 4 m: nella stessa direzione.

Da queste considerazioni che del resto si trovano anche accennate a pagina 88 del ricordato studio sugli esperimenti di Tracchia, risulta evidente che in una Galleria come quella del Gottardo nella quale si deve avere di mira la ventilazione della Galleria e non quella dei treni, sarebbe conveniente disporre le cose in modo che il getto d'aria permettesse di assecondare in ogni **caso** le correnti naturali senza dover mai invertire quelle in direzione da Sud a Nord, e ciò col completare l'impianto di Göschenen mediante l'aggiunta di un ugello che agisca per aspirazione

§° 7° Grado di purezza che si ottiene nell'atmosfera della Galleria mediante la ventilazione artificiale __ Con le ricerche fin qui fatte si è in grado di conoscere a quanti giri si dovranno far funzionare i ventilatori e quanta forza motrice si dovrà spendere per ottenere una data corrente artificiale nella Galleria del Gottardo, anche in condizioni diverse da quelle sperimentate. Si tratta ora di indagare quale sia il valore più opportuno da assegnarsi alla corrente artificiale affinchè non siano superati certi limiti di inquinamento dell'aria oltre i quali le condizioni di respirabilità in Galleria cominciano ad essere cattive od anche pericolose.

Nella Galleria del Gottardo a piccole pendenze (metà circa 5,82 ‰ e metà 2 ‰) percorsa da treni relativamente celeri (anche i merci hanno la velocità di 30 Km-ora) in generale in semplice trazione, non è il caso di preoccuparsi delle condizioni di respirabilità per il personale del treno. Le condizioni in cui si trova l'ambiente che involge il treno sono poco differenti da quelle dell'atmosfera in galleria. Risulta infatti dalle analisi chimiche raccolte nel Quadro 22, che il coefficiente $\Psi$ di inquinamento

(proporzione a volume per % di Ocido Carbonico + Ossido Carbonico) è risultato in media di 8,3 per i treni Nord - Sud e di 5,5 per i Sud - Nord (il che s'accorda col fatto che la maggior discesa è nel senso Sud - Nord), la media generale è ψ = 7. Di poco differente, cioè di 7,3, è risultata la media del coefficiente d'inquinamento (Quadro 21) dell'aria in Galleria verso l'imbocco Airolo ove si hanno le condizioni più sfavorevoli.

Si nota in generale nelle diverse analisi eseguite una forte proporzione di ossido di carbonio in confronto all'acido carbonico, mentre nei prodotti della combustione usciti dal fumaiuolo delle locomotive (Quadro 20) quei due gaz si trovano nel rapporto normale. Tale differenza può dipendere dal fatto che l'acido carbonico resta assai facilmente assorbito dall'umidità, mentre l'ossido di carbonio è pressochè insolubile nell'acqua. _ Trattandosi dunque di una Galleria nella quale, come si è detto, si deve aver di mira unicamente le condizioni di respirabilità nell'ambiente e non sul treno, il problema dell'inquinamento va studiato in maniera affatto differente da quello di Pracchia e come prima conseguenza, nel caso del Gottardo, non ha alcuna importanza la direzione della corrente, ma soltanto il valore assoluto. Per cui tutte le deduzioni che si faranno in seguito, supponendo la corrente diretta da Nord a Sud, sarebbero ugualmente applicabili se la corrente fosse diretta da Sud a Nord.

Per completare questo studio occorreva conoscere con qualche approssimazione la quantità di combustibile e di vapore consumato dalle locomotive durante il percorso della Galleria. È noto che i macchinisti hanno ordine di non far fuoco durante il tragitto di quella Galleria, perciò debbono partire dalle Stazioni di Göschenen o di Airolo colla griglia del focolare completamente guarnita fino all'altezza della bocca di carica, e lasciar ardere all'esterno la parte più volatile per entrare in Galleria col combustibile completamente incandescente e con la porta chiusa.

Durante la traversata il carbone consuma lentamente ed il vapore viene fornito ai cilindri a spese dell'acqua contenuta nella

caldaia il cui livello si abbassa gradatamente. Tenendo conto dello abbassamento del combustibile nel focolare e dell'abbassamento dell'acqua nel tender (dopo aver ricondotto il livello in caldaia a quello di partenza) si poterono ottenere direttamente i consumi indicati nel Quadro 23 per i treni diretti e merci. Nello stesso Quadro si trovano calcolati i consumi di carbone ed acqua con le formole adottate dalla Rete Adriatica. Come era a prevedersi il consumo di combustibile risultò alquanto superiore a quello che si effettua nelle locomotive del Gottardo, in grazia appunto alle precauzioni ivi in vigore; invece il consumo di acqua risultò pressochè identico nei due casi. Ciò che conferma l'attendibilità delle osservazioni che si poterono fare durante i giorni delle esperienze. Si adotterà dunque come consumo medio di combustibile Kg: 170 per ogni treno, e come consumo medio di acqua Kg: 1870. Osservando che un Kg: di combustibile dà m³ 2,2 di acido carbonico e di ossido carbonico presi insieme nelle condizioni di temperatura e di pressione che si hanno nella Galleria del Gottardo, si avrà che ogni treno abbandona in Galleria 2,2 x 170 = m³ 374 di gaz inquinanti. Essendo $V_1 = 0,86\, V$ la velocità media della corrente in Galleria diretta da Nord a Sud per quanto si è supposto, W quella dei treni, si avrà che il coefficiente di inquinamento risulta:

per i treni Sud - Nord $$\Psi_{S.N.} = \frac{374}{\Omega L \left(1 + \frac{V_1}{W}\right)} \times 1000$$

per i treni Nord - Sud $$\Psi_{N.S.} = \frac{374}{\Omega L \left(1 - \frac{V_1}{W}\right)} \times 1000$$

in media:

$$\Psi = \frac{\Psi_{S.N.} + \Psi_{N.S.}}{2} = \frac{374}{\Omega L \left(1 - \frac{V_1^2}{W^2}\right)} \times 1000 \quad \text{(espresso in litri per m}^3\text{)}$$

In modo analogo si trova che l'incremento di umidità prodotto nell'ambiente dal passaggio di ogni treno è dato in media da:

$$u = \frac{1870}{\Omega L \left(1 - \frac{V_1^2}{W^2}\right)} \times 1000 \quad \text{(espresso in grammi per m}^3\text{)}$$

e l'incremento di temperatura da:

$$^{(1)}\ T = \frac{374 \times 7 \times 0{,}27 \times 180° + 1870 \times 0{.}48 \times 80°}{0{,}25\ L\,\Omega\left(1 - \frac{V_1^2}{W^2}\right)}$$ (espresso in gradi centigr.)

Con tali formole è stato calcolato il Quadro 24, il quale dà gli incrementi, dovuti al passaggio di ciascun treno, dei vari coefficienti che contribuiscono a rendere meno respirabile l'ambiente della Galleria.

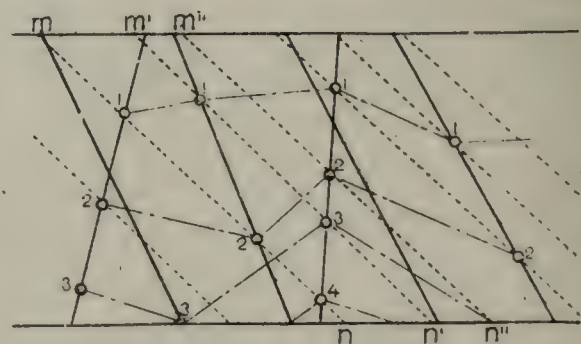
D'altra parte nel diagramma del traffico durante l'anno 1884, in cui ancora non si avvertiva il bisogno della ventilazione artificiale, ed in quello del traffico del 1899 (Tavola VIII) vennero segnate le linee che congiungono i punti della Galleria in cui i treni entrano successivamente nelle zone di fumo lasciate dai treni precedenti. Si vengono così a tracciare i diagrammi che rappresentano l'accumularsi dei prodotti lasciati in Galleria dai treni in diverse circostanze di traffico e di corrente artificiale.(2)

Con l'orario in vigore nel 1884, anche considerando la corrente debole in Galleria (m. 1 al 1" supposta libera dai treni, m. 0,86 in media tenen conto del passaggio dei treni), si hanno due soli periodi della giornata in cui si accumulano i prodotti di N.° 7 treni, mentre per buona parte della notte e dalle 13 alle 16 si hanno i prodotti accumulati di non oltre 4 treni.

Con la stessa velocità di corrente ma con l'orario attuale si avrebbero i prodotti accumulati di ben 16 treni (Diagramma II Tav.a VIII). Invece supponendo di portare la velocità della corrente a 2, 3 e 4 m. al 1" (cioè a

---

(1) Si è supposto:
a) che i prodotti della combustione escano dal fumaiuolo mescolati a 6 volumi d'aria ed abbiano una temperatura di 180° superiore a quella finale dell'ambiente, ed un calore specifico di 0,27 al m³.
b) che il vapor d'acqua di scappamento abbia una temperatura di 80° sopra quella finale dell'ambiente, ed un calore specifico di 0,48 al Kg.
c) che l'aria della Galleria a cui si mescolano i prodotti anzidetti abbia una temperatura di circa 20° ed un calore specifico di 0,25 al m³.

(2) Le rette m n, nella costruzione grafica controsegnata, indicano in direzione ed in velocità il percorso della colonna di fumo abbandonata dai diversi treni in Galleria, la quale colonna ha la stessa velocità V' = 0,86 V della corrente.

1,72, 2,58 e 3,44 tenendo conto dell'influenza ritardatrice esercitata dal passaggio dei treni) l'accumulamento dei prodotti si limiterebbe a 10, 8 e 6 treni soltanto. In altre parole, se col ventilatore si riesce a mantenere in Galleria una corrente dai 3 ai 4 m: al 1", si avrebbe nelle presenti condizioni di traffico lo stesso grado di respirabilità che si aveva nel 1884, cioè soddisfacente sotto ogni rapporto come allora era appunto considerato, talchè non si pensava di adottar mezzi per migliorare le condizioni di ventilazione di quel lungo sotterraneo.

Una corrente di soli 2 m: al 1" non sarebbe invece più sufficiente nelle attuali condizioni di traffico. Infatti nel Quadro 25 vennero indicati i coefficienti di inquinamento corrispondenti alle posizioni della Galleria nelle quali, secondo le anzidette diverse ipotesi, si verifica il massimo accumulamento di prodotti della combustione. All'orario del 1899 ed alla velocità di 2 m: corrisponde un coefficiente di inquinamento $\Psi = 6$, che raggiunge il limite stabilito al §: 5 Parte VI dello Studio di Pracchia, oltre al quale diviene pericoloso un ambiente di Galleria in cui deve risiedere per qualche tempo il personale di servizio. Con l'orario del 1899 e 3 m: di velocità, si ha $\Psi = 5,1$, e con la velocità di 4 m: si ha $\Psi = 4,0$, che sarebbero limiti convenienti. Però all'atto pratico e quando le condizioni atmosferiche sono sfavorevoli (corrente naturale Sud-Nord), se la corrente raggiunge il valore di 3 m: converrà accontentarsi della medesima senza far funzionare il ventilatore, poichè, come si è già accennato, il voler guadagnare un metro sul valore assoluto della corrente, rovesciando quella naturale, porterebbe ad un dispendio di forza troppo grande senza considerare il disturbo prodotto all'imbocco da un rigurgito che dovrebbe raggiungere i m³ 400 circa al 1" (Vedasi Quadro 19).

§: 8: Grado di temperatura e di umidità — Dopo l'apertura all'esercizio della Galleria del Gottardo, il grado di temperatura interno andò diminuendo; come risulta dai dati presentati dalla Società del Gottardo al Congresso di Parigi del 1889 [1], la temperatura della

[1] Bulletin de la Commission Int: du Congrès etc. III Ses. 1889.

roccia sotto al culmine raggiunse i 24°5; quella massima dell'aria in Galleria raggiunse i 22°. Queste ad un dipresso furono le temperature che si verificarono anche negli anni successivi; quindi sotto questo rapporto non si potevano avere preoccupazioni di sorta per quanto riguarda la respirabilità dell'aria.

Invece si osservò sempre un elevato grado di umidità che negli ultimi anni andò ognora crescendo e che si rendeva manifesto per un persistente odore di muffa; dacchè venne attivata la ventilazione l'odore caratteristico di muffa scomparve, come è accennato nella recente Nota della Direzione della Gotthardbahn già ricordata, senza per altro poter affermare che, almeno apparentemente, l'umidità fosse di molto diminuita.

Per studiare tale argomento nelle esperienze eseguite nel Giugno 1899 si fecero due serie di osservazioni.

La prima serie consistette nel rilevare dal posto di osservazione a 500 m: dall'imbocco Göschenen (Vedere Tavole III e IV), contemporaneamente ai diagrammi delle velocità anche quelli delle temperature e del grado di umidità. Come si osserva nei diagrammi II e V della Tav.ª VIII, la corrente essendo diretta da Göschenen ad Airolo, nel posto di osservazione a 500 m: dall'imbocco Göschenen non si possono avere al più e per brevi intervalli che i prodotti abbandonati da un solo treno.

Si scorge infatti dal diagramma del giorno 13 Tav.ª III che normalmente il grado di umidità si mantiene in Galleria uguale all'esterno tenuto conto della variazione di temperatura: soltanto al passaggio dei treni diretti da Göschenen ad Airolo (salita del 5,8‰) il grado di umidità relativa aumenta di circa il 25% in media, ciò che alla temperatura media di 14° corrisponde a 0,25 x 12(*) = 3 gram.i di vapor d'acqua per m.³ d'aria, ossia all'incirca quanto erasi trovato col calcolo nel Quadro 24. Per i treni diretti verso Göschenen, che percorrono l'ultimo tratto di Galleria a regolatore chiuso, si vede che il grado di umidità momentaneamente diminuisce, ciò che è dovuto al fatto che la temperatura cresce sensibilmente senza che vi sia un analogo incremento di vapor d'acqua.

(*) Vedasi Quadro 26

Nelle prime ore di osservazione del giorno 20 Giugno (Vedasi la Tav.ª IV), in cui la corrente predominante si mantenne diretta da Airolo verso Göschenen, in modo che l'accumulamento dei prodotti avveniva verso quest'ultimo imbocco, il grado di umidità relativa si mantenne costantemente assai prossimo al 100%. Soltanto dopo le ore 14, quando la corrente si potè mantenere rovesciata mediante il funzionamento dei ventilatori, il grado di umidità andò abbassandosi fino all'80% circa. Dopo il passaggio dei treni si osservarono variazioni analoghe a quelle del giorno 13.

La seconda serie delle esperienze consistette nell'indagare il regime termico ed igrometrico lungo tutto il percorso della Galleria. Tale indagine venne fatta nel giorno 12 (mentre vi era corrente naturale da Nord a Sud di m: 1,5 a m: 2,0) seguendo l'orario A.A. indicato nel III Diagramma della Tav.ª VIII, e nel giorno 13 (mentre vi era corrente artificiale da m: 2 a 3) seguendo l'orario B.B. indicato nel IV Diagramma.

La temperatura che all'imbocco Goschenen era in quei due giorni rispettivamente di 19° e 20°, andò rapidamente abbassandosi all'interno fino a 13° e 14°, in causa delle pareti della Galleria raffreddate dalla corrente della notte e del mattino (Vedasi Tav.ª VII)

In seguito poi aumentò gradatamente fino a raggiungere un massimo di 22° a 23° presso l'imbocco Airolo.

L'incremento di 9° a 10° di temperatura corrispode assai prossimamente a quello dato dal calcolo (Quadro 25) per il sovrapporsi dei prodotti accumulati di 5 ad 8 treni, quanti appunto se ne potevano avere nell'ultimo tratto di Galleria nei giorni delle esperienze.

Quanto al grado di umidità si osserva subito che nel giorno 12 a partire dal Km: 2,5, si raggiungeva la saturazione completa e la quale si manteneva per tutto il rimanente tratto di Galleria: nel giorno 13 la saturazione completa si ebbe a partire dal Km: 3,5. Questo risultato corrisponde esattamente alle deduzioni che si possono ricavare dai calcoli sopra esposti. Infatti dal Quadro 26 si ha che l'aria entrando in Galleria a circa 20° con l'umidità relativa del 45%, conteneva 0,45 x 17,3 = gr: 7,8 di vapore

d'acqua per m³. La temperatura interna fra i Km: 2,5 e 3,5 essendo di circa 14° il limite di saturazione corrispondente è di 12 gr: per m³. Quindi bastano 12 - 7,8 = 4,2 grammi di vapor d'acqua in ogni m³ di aria per avere la completa saturazione. Si scorge dal Quadro 24 che per avere tale quantità di vapor d'acqua è sufficiente che s'accumulino i prodotti della combustione di due treni. Ed è appunto in prossimità della linea che segna l'accumularsi dei prodotti della combustione dei due treni che si è avuto il 100% di umidità nei giorni 12 e 13, come rilevasi dai diagrammi III e IV della Tav.ª VIII già citata.

Se si attivasse la ventilazione in modo da raggiungere i 4 m: di velocità al 1", si vede che la seconda linea, quella che segna il limite di saturazione dell'aria, oscillerebbe attorno alla linea mediana della Galleria. Perciò, anche nelle migliori ipotesi di ventilazione artificiale si avrà permanentemente l'aria satura di umidità nella metà della Galleria verso Airolo.

Però anche col 100% di umidità si avrà sempre con la ventilazione artificiale un vantaggio notevole. Infatti, quando con la ventilazione naturale si ha la corrente di un sol metro di velocità, ciò che avviene di frequente, verso Airolo si possono accumulare i prodotti abbandonati da 16 treni e per ogni metro cubo d'aria si possono avere gr: 44,8 di vapor d'acqua, come si è trovato nel Quadro 25. Supposta verso Airolo la temperatura di 26°, dal Quadro 26 si ha che ogni metro cubo di aria può al massimo contenere 24,2 gr: di vapor d'acqua. Siccome entrando in galleria l'aria da Göschenen ne conteneva già gr: 7,8, ne consegue che 44,8 - 24,2 + 7,8 = 28,4 gr: debbono precipitare. Se con la ventilazione si può invece raggiungere la corrente di 4 m: , non si possono accumulare verso Airolo che i prodotti di 6 treni, e poichè la temperatura sarebbe allora di circa 20°, collo stesso ragionamento si trova che da ogni metro cubo d'aria non si possono precipitare che 10,9 gr: di acqua.

La differenza è dunque notevole, specialmente se si tien conto che è appunto quest'acqua che si condensa allo stato di tenuissima pioggia, quella che arreca maggior disturbo al personale di servizio e che, colla

azione combinata dell'acido carbonico, produce i maggiori guasti nel materiale metallico d'armamento. Resta però sempre il fatto che la metà della Galleria verso Airolo, con la ventilazione artificiale verrà a trovarsi permanentemente in condizioni assai meno buone della metà verso Göschenen.

Anche da questo fatto risulta la opportunità di poter dirigere la corrente artificiale nei due sensi, non solo per poter sempre assecondare la corrente naturale e raggiungere agevolmente la velocità di 4 m senza eccessivo dispendio di forza, ma altresì per poter mantenere relativamente asciutto l'ambiente ora verso un imbocco, ora verso l'altro, meglio distribuendosi così il beneficio della ventilazione.

---

# *QUADRI NUMERICI*

Quadro 1

## Peso specifico medio dell'aria interna ed esterna alla Galleria nei giorni delle esperienze

| Data | Pressione barometrica media nella giornata ridotta a 0° | All'esterno della Galleria presso l'imbocco Göschenen | | | All'interno della Galleria nella Sezione a m: 500 dall'imbocco Göschenen | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Temperatura media | Umidità relativa media | γ Peso medio di 1 m³ d'aria | Temperatura media | Umidità relativa media | γ Peso medio di 1 m³ d'aria |
| 12 Giugno 1899 | 668,6 | 15°.0 | 50 % | Kg: 1,08 | 12°.5 | 75 % | Kg: 1.09 |
| 13 » » | 663,5 | 16°.0 | 50 % | » 1,06 | 13°.0 | 80 % | » 1 07 |
| 14 » » | 662,5 | 8°.5 | 65 % | » 1,10 | 9°.0 | 72 % | » 1,09 |
| 15 » » | 665,5 | 10°.5 | 65 % | » 1,09 | 9°.0 | 72 % | » 1,10 |
| 16 » » | 665,7 | 9°.0 | 85 % | » 1,10 | 9°.0 | 70 % | » 1,09 |
| 17 » » | 665,4 | 10°.5 | 90 % | » 1,09 | --- | --- | --- |
| 20 » » | 663,9 | 17°.0 | 45 % | » 1,06 | 12°.5 | 97 % | » 1,06 |
| dal 12 al 20 medie generali | | | | γ = Kg: 1,08 | | | γ = Kg: 1.09 |
| – | | presso l'imbocco Airolo | | | nella Sezione a m: 225 dall'imbocco Airolo | | |
| 20 Giugno 1899 | 660,8 | 16°.0 | 45% | Kg: 1,06 | 15°.0 | 90% | Kg: 1,06 |

Quadro 2

## Osservazioni barometriche eseguite negli osservatori di Göschenen ed Airolo per cura della Società della Gotthardbahn nei giorni delle esperienze alle ore 13½

| Data | Imbocco Göschenen | | | Imbocco Airolo | | | | Differenza effettiva della pressione barometrica tra i due imbocchi | | V° Velocità della corrente naturale in Galleria m: al 1" | Pressione corrispondente alla velocità V° della corrente naturale in m/m d'acqua |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Temperatura del barometro | Pressione barometrica | | Temperatura del barometro | Pressione barometrica | | | | | | |
| | | letta | ridotta a 0° | | letta | ridotta a 0° | ridotta a 0° ed alla quota di Göschenen * | in m/m di mercurio | in m/m d'acqua | | |
| 12 Giugno 1899 | 13°.5 | 670,0 | 668,6 | 19°.5 | 665,4 | 663,3 | 666,3 | 2.3 | 31,3 | 2,29 | 17,6 |
| 13 » » | 14°.0 | 665,0 | 663,5 | 20°.6 | 660,8 | 658,6 | 661,6 | 1,9 | 25.8 | 1,77 | 10,3 |
| 14 » » | 12°.5 | 663,8 | 662,5 | 17°.6 | 658,3 | 656,4 | 659,4 | 3,1 | 42,2 | 3,54 | 42,2 |
| 15 » » | 12°.0 | 666,8 | 665,5 | 17°.1 | 662,2 | 660,4 | 663,4 | 2,1 | 28,6 | 2.40 | 19.5 |
| 16 » » | 12°.0 | 667,0 | 665,7 | 15°.7 | 662,7 | 661,0 | 664,0 | 1,7 | 23,1 | 2,19 | 16,1 |
| 20 » » | 12°.0 | 665,2 | 663,9 | 16°.6 | 662,9 | 661,1 | 664,3 | ** -0,4 | -5,4 | -1,98 | -13.0 |

* La stazione di Airolo trovasi a m: 35,80 sopra quella di Göschenen. Alla pressione barometrica media di 664 m/m, ogni m/m di colonna di mercurio corrisponde ad un dislivello di m: 12. Per cui a tutte le letture del barometro fatte nella stazione di Airolo si dovranno aggiungere $\frac{35,8}{12} = 3$ m/m di colonna di mercurio.

** Quando la corrente in Galleria è diretta da Airolo verso Göschenen, e quando la pressione effettiva è maggiore ad Airolo che a Göschenen le velocità e le pressioni si fanno precedere dal segno negativo.

# Determinazione della velocità media effettiva dell'aria nella intera Sez

Dati sulla Sezione a 500 m: Imbocco Göschenen

Sezione a 500 m:

11 Giugno 1899. Vent.re da 75 ad 80 giri al 1' — I Esperienza

11 Giugno 1899. Vent.re da 75 ad 80 giri al 1' — II Esperienza

| Scomparti nei quali si suddivise la sezione della Galleria per la determinazione della velocità media effettiva | | | I Esperienza: Velocità in m: al 1" | | | I Esperienza: Volume di aria in m³ al 1" corrispondente ai diversi scomparti | II Esperienza: Velocità in m: al 1" | | | II Esperienza: Volume di aria in m³ al 1" corrispondente ai diversi scomparti |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Numero progressivo | Area in m² | Altezza del centro dell'anemometro m: | indicata dall'anemometro fisso posto a m: 1,60 dal terreno | effettiva misurata dall'anemometro spostabile | media effettiva alle differenti altezze | | indicata dall'anemometro fisso posto a m: 1,60 dal terreno | effettiva misurata dall'anemometro spostabile | media effettiva alle differenti altezze | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1 | 2. 4 | | 3. 29 | 3,93 | | 9,43 | 3,03 | 3,72 | | 8,93 |
| 2 | 3, 9 | | 3,24 | 3,97 | | 15,48 | 3,03 | 3,99 | | 15.56 |
| 3 | 3, 9 | 4,50 | 3,18 | 3,97 | 3,89 | 15,48 | 2,98 | 3.99 | 3,83 | 15,56 |
| 4 | 2, 4 | | 3,03 | 3,72 | | 8,93 | 2,94 | 3,64 | | 8.74 |
| 5 | 3, 2 | | 3,13 | 3,72 | | 11,90 | 2,90 | 3,72 | | 11,90 |
| 6 | 2, 5 | | 3,03 | 3,64 | | 9,10 | 2,86 | 3,41 | | 8,52 |
| 7 | 2, 5 | 3,00 | 3,15 | 3,80 | 3,79 | 9,50 | 2,82 | 3,56 | 3,67 | 8,90 |
| 8 | 3, 2 | | 3,18 | 4,03 | | 12,90 | 2,94 | 3,81 | | 12,19 |
| 9 | 5, 1 | | 3,13 | 3,49 | | 17,80 | 3,03 | 3,21 | | 16,37 |
| 10 | 4, 1 | | 3,24 | 3,32 | | 13,61 | 2,94 | 2,99 | | 12.26 |
| 11 | 4, 1 | 1.60 | 3,18 | 2,94 | 3,21 | 12,05 | 2,94 | 2,94 | 3,08 | 12,05 |
| 12 | 5, 1 | | 3.18 | 3,11 | | 15,86 | 2,94 | 3,16 | | 16,12 |

Area totale m² 42,4

I Esperienza: 3,16 velocità medie 3,59 — 1,14

II Esperienza: 2,95 velocità medie 3,47 — 1,18

Rapporto $\frac{\text{Velocità effettiva}}{\text{Velocità indicata}}$ =

Media generale del rapporto fra la velocità misurata dall'anemometro fisso posto a m. 1,60

## Osserva

La velocità delle colonne 4 vennero determinate con un Anemometro Lowne tenuto all'altezza di m 1,60 sopra il piano del terreno, e contemporaneamente con un Anemometro Combes scorrevole lungo un'asta si determinarono le velocità (colonne 5) in corrispondenza al centro dei diversi scomparti nei quali si era supposta divisa la sezione della Galleria (Tavola II)

Le velocità V dei quadri vennero dedotte dal numero n dei giri al 1" indicati dagli Anemometri mediante le seguenti formole determinate con taramento diretto presso il Laboratorio della Direzione dei Lavori R. A. in Ancona, e corrette dell'effetto dovuto alla diversa densità dell'aria durante il taramento ($\gamma = 1,23$) e nell'interno della Galleria ( $\gamma = 1,09$ – vedere Quadro 1 ) secondo la teoria di Combes.

Anemometro spostabile Combes $V = 0,00274\ n + 0,0065 \sqrt{\frac{1,23}{1,09}} = 0,00274\ n + 0,0069$

Anemometro fisso Lowne $V = 0,911\ n + 0,0913 \sqrt{\frac{1,23}{1,09}} = 0,911\ n + 0,097$

Quadro 3

## ione della Galleria in relazione delle indicazioni dell'Anemometro fisso

### Imbocco Göschenen — Sez.e a 225m Imbocco Airolo

**11 Giugno 1899. Vent.re a 60 giri al 1'**
**III Esperienza**

| Velocità in m: al 1" indicata dall'anemometro fisso posto a m: 1.60 dal terreno | Velocità in m: al 1" effettiva misurata dall'anemometro spostabile | Velocità in m: al 1" media effettiva alle differenti altezze | Volume di aria in m³ al 1" corrispondente ai diversi scomparti |
|---|---|---|---|
| 4 | 5 | 6 | 7 |
| 2, 94 | 3,23 | 3, 31 | 7, 75 |
| 2, 70 | 3,43 | | 13, 38 |
| 2, 94 | 3, 49 | | 13,61 |
| 2, 86 | 3, 11 | | 7, 46 |
| 2, 78 | 3, 35 | 3, 30 | 10, 72 |
| 2, 86 | 3, 05 | | 7, 63 |
| 2, 82 | 3, 38 | | 8, 45 |
| 2, 86 | 3, 43 | | 10, 98 |
| 2, 94 | 3, 11 | 2, 84 | 15, 86 |
| 2, 78 | 3, 94 | | 12, 05 |
| 2, 82 | 2, 59 | | 10, 62 |
| 2, 78 | 2, 72 | | 13, 87 |

2, 84 velocità medie 3, 12

1, 10

**11 Giugno 1899. Corrente naturale**
**IV. Esperienza**

| Velocità in m: al 1" indicata dall'anemometro fisso posto a m: 1.60 dal terreno | Velocità in m: al 1" effettiva misurata dall'anemometro spostabile | Velocità in m: al 1" media effettiva alle differenti altezze | Volume di aria in m³ al 1" corrispondente ai diversi scomparti |
|---|---|---|---|
| 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1, 88 | 2, 26 | 2, 41 | 5, 42 |
| 1, 92 | 2, 51 | | 9, 79 |
| 1, 92 | 2, 48 | | 9, 67 |
| 1, 92 | 2, 37 | | 8, 07 |
| 1, 92 | 2, 09 | 2, 16 | 6, 69 |
| 1, 88 | 2, 07 | | 5, 18 |
| 1. 92 | 2, 28 | | 5, 70 |
| 1, 96 | 2, 22 | | 7, 10 |
| 1, 88 | 1, 80 | 1, 73 | 9, 18 |
| 1. 92 | 1, 80 | | 7, 38 |
| 1, 88 | 1, 66 | | 6, 81 |
| 1, 88 | 1, 68 | | 8, 57 |

1, 91 velocità medie 2, 11

1, 10

**12 Giugno 1899. Corrente naturale**
**V Esperienza**

| Velocità in m: al 1" indicata nell'anemometro fisso posto a m: 1.60 dal terreno | Velocità in m: al 1" effettiva misurata dall'anemometro spostabile | Velocità in m: al 1" media effettiva alle differenti altezze | Volume di aria in m³ al 1" corrispondente ai diversi scomparti |
|---|---|---|---|
| 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1, 60 | 1. 98 | 2, 28 | 4, 75 |
| 1, 77 | 2, 45 | | 9, 56 |
| 1, 77 | 2, 41 | | 9, 40 |
| 1, 72 | 2, 26 | | 5, 42 |
| 1, 68 | 2, 00 | 2, 14 | 6, 40 |
| 1, 66 | 2, 15 | | 5, 38 |
| 1, 51 | 2, 15 | | 5, 38 |
| 1, 51 | 1, 98 | | 6, 34 |
| 1, 58 | 1, 65 | 1, 55 | 8, 42 |
| 1, 50 | 1, 59 | | 6, 52 |
| 1, 51 | 1, 59 | | 6, 52 |
| 1, 58 | 1, 36 | | 6, 94 |

1, 60 velocità medie 1, 91

1, 19

sul terreno e la velocità effettiva media sopra tutta la Sezione della Galleria = 1, 14

## zioni

Vedesi nei quadri suesposti che le velocità medie date dall'anemometro fisso corrispondono assai prossimamente alle medie delle quattro velocità determinate con l'altro anemometro all'altezza di m: 1,60 sopra il terreno.

Nelle colonne 7 ciascuna velocità venne moltiplicata per l'area (colonna 2) dello scomparto corrispondente: la somma di queste portate parziali diviso per l'area totale (m² 42,4) dà la velocità effettiva media nella sezione. Se ne dedussero i rapporti fra la velocità indicata dall'anemometro fisso e quella effettiva media della sezione, il cui valore medio risultò 1,14.

Ne' diagrammi del movimento dell'aria in Galleria (Tav.e III e IV) le velocità della corrente sono quelle lette sull'anemometro Lowne: per dedurre le velocità medie effettive nella sezione si dovrà far uso della formola $V = 1,14\ (0,911\ n + 0,097) = 1,04\ n + 0,11$

Quadro 4

## Variazioni della velocità di efflusso nei diversi scomparti dell'ugello

### 1ª Esperienza

| Numero d'ordine dello scomparto (Tavola II) | Velocità in m: al 1" | |
|---|---|---|
| | Scomparti di sinistra | Scomparti di destra |
| 1 | 7,72 | 8,72 |
| 2 | 6,30 | 7,99 |
| 3 | 7,39 | 7,78 |
| 4 | 7,92 | 6,81 |
| 5 | 7,60 | 7,03 |
| 6 | 8,65 | 6,92 |
| 7 | 9,09 | 6,15 |
| 8 | 9,12 | 8,38 |
| 9 | 8,08 | 7,56 |
| 10 | 7,63 | 7,36 |
| 11 | 6,46 | 4,09 |
| 12 | 6,78 | 5,17 |
| 13 | 7,75 | 6,33 |
| 14 | 7,60 | 4,95 |
| 15 | 6,07 | 5,29 |

Velocità media m: 6,87 al 1"

### 2ª Esperienza

| Numero d'ordine dello scomparto (Tavola II) | Velocità in m: al 1" | |
|---|---|---|
| | Scomparti di sinistra | Scomparti di destra |
| 1 | 13,44 | 8,54 |
| 2 | 10,43 | 10,53 |
| 3 | 13,44 | 13,44 |
| 4 | 14,37 | 17,78 |
| 5 | 14,37 | 11,90 |
| 6 | 19,03 | 18,20 |
| 7 | 23,02 | 14,87 |
| 8 | 14,37 | 13,27 |
| 9 | 24,85 | 11,27 |
| 10 | 24,85 | 26,49 |
| 11 | 22,13 | 19,96 |
| 12 | 23,02 | 19,03 |
| 13 | 24,85 | 23,13 |
| 14 | 24,85 | 13,44 |
| 15 | 24,85 | 24,85 |

Velocità media m: 20,55 al 1"

Quadro 5

## Variazioni della velocità della corrente nelle successive sezioni avanti all'ugello

### 1ª Esperienza

| Distanza dalla bocca dell'ugello m: | Velocità della corrente in corrispondenza del | | | |
|---|---|---|---|---|
| | binario di sinistra | | binario di destra | |
| | 1ª Rotaia | 2ª Rotaia | 3ª Rotaia | 4ª Rotaia |
| 5 | 6,19 | 6,70 | 3.49 | 1,34 |
| 10 | 2,35 | 4,93 | 5,55 | 1,74 |
| 15 | 1,19 | 1,18 | 3.24 | 3,35 |
| 20 | 1,71 | 2,12 | 1.78 | 3,11 |
| 30 | 1,44 | 1,74 | 2,02 | 1,31 |
| 40 | 1,65 | 1,44 | 1.44 | 2,28 |

### 2ª Esperienza

| Distanza dalla bocca dell'ugello m: | Velocità della corrente in corrispondenza del | | | |
|---|---|---|---|---|
| | binario di sinistra | | binario di destra | |
| | 1ª Rotaia | 2ª Rotaia | 3ª Rotaia | 4ª Rotaia |
| 10 | 2,00 | 6,39 | 7,21 | 2,58 |
| 15 | 2,12 | 2,99 | 5,20 | 5,54 |
| 20 | 3,48 | 2,55 | 3,16 | 5,94 |
| 30 | 2,70 | 2,83 | 2,99 | 4,18 |
| 40 | 2,70 | 2,55 | 2,81 | 4.07 |
| 50 | 2,94 | 2.55 | 2,85 | 3,35 |

Quadro 6

# Determinazione del coefficiente d'attrito dell'aria ρ contro le pareti della Galleria

| N° della esperienza (Tavole III e IV) | Data — Giorno | Data — Ora | e Eccesso di pressione sulla esterna all'imbocco Göschenen m/m | V₀ Velocità della corrente naturale — letta all'anemometro fisso m. all" | V₀ Velocità della corrente naturale — media sopra la sezione della Galleria m. all" | V Velocità della corrente artificiale — letta all'anemometro fisso m. all" | V Velocità della corrente artificiale — media sopra la sezione della Galleria m. all" | γ Peso di un metro cubo d'aria Kg. | Valori del coefficiente ρ | Valore medio del coefficiente ρ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Corrente naturale da Göschenen verso Airolo** | | | | | | | | | | |
| I | 13 Giugno 1899 | 10. _ | 16 | 1,95 | 2,14 | 2,90 | 3,13 | 1,07 | 0,0262 | |
| II | » » » | 10.40' | 15 | 2,00 | 2,19 | 2,85 | 3,07 | » | 0,0278 | 0.0271 |
| III | » » » | 12.30' | 19 | 1,80 | 1,98 | 3,00 | 3,23 | » | 0,0248 | |
| IV | » » » | 14. _ | 25 | 1,55 | 1,72 | 2,95 | 3,18 | » | 0,0295 | |
| **Corrente naturale da Airolo verso Göschenen** | | | | | | | | | | |
| V | 20 Giugno 1899 | 9.25' | 17 | −1,80 | −1,98 | 0,60 | 0,73 | 1,08 | 0,0311 | |
| VI | » » » | 11.50' | 12 | −1,80 | −1,98 | −0,60 | 0,73 | » | 0,0287 | 0,0269 |
| VII | » » » | 14. _ | 26 | −1,80 | −1,98 | 2,30 | 2,50 | » | 0,0210 | |
| VIII | » » » | 15.10' | 25.5 | −1,80 | −1,98 | 1,80 | 1,98 | » | 0,0267 | |

Valore medio di ρ 0,027

I valori del coefficiente ρ furono determinati mediante la formola generale:

$$\rho = \frac{\frac{2ge}{\gamma} + V_0^2}{\frac{L}{D}\left(\frac{L_1}{L}\;V^2 - V_0^2\right)}$$

nella quale i termini in $V^2$ e $V_0^2$ si devono prendere col segno cambiato se $V$ e $V_0$ sono negativi, ossia se si tratta di correnti dirette da Airolo verso Göschenen.

Inoltre, nel caso di $V$ negativo, alla pressione $e$ si deve sostituire $e + e_1$ dove $e_1 = \frac{\gamma}{2g} V^2$ corrisponde alla perdita di carico che si verifica per imprimere all'aria la velocità $V$.

Quadro 7

# Rapporto Φ fra la velocità media approssimativa $V_1$ dell'aria in Galleria nelle attuali condizioni di traffico e la velocità media V che si verificherebbe a Galleria libera dai treni

| Giorno | Velocità media della corrente rilevata dai diagrammi | | Velocità media della corrente supposta la Galleria libera da treni | | Φ Rapporto fra la velocità media effettiva e quella che si verificherebbe a Galleria libera |
|---|---|---|---|---|---|
| | segnata dall'anemometro fisso m. al 1" | rettificata sopra la sezione della Galleria m. al 1" | segnata dall'anemometro fisso m. al 1" | rettificata sopra la sezione della Galleria m. al 1" | |
| 12 Giugno 1899 | 1,60 | 1,77 | 1.89 | 2,08 | 0,85 |
| 13 » » | 2,38 | 2,59 | 2,67 | 2,89 | 0,89 |
| 14 » » | 3,27 | 3,46 | 3,80 | 4,06 | 0,85 |
| 15 » » | 2,37 | 2,57 | 2,54 | 2,75 | 0,93 * |
| 16 » » | 2,17 | 2,37 | 2,69 | 2,91 | 0,82 |
| 20 » » | 1,08 | 1,23 | 1,25 | 1,41 | 0,87 ** |
| | | | | Valore medio di Φ = | 0,86 |

* Venne scartata l'esperienza del giorno 15, perchè in quella giornata la velocità subì continue variazioni in modo che riusciva incerta la determinazione della galleria libera.

** Il rapporto si riferisce alla sola parte del diagramma nel quale non è avvenuto rovesciamento della corrente naturale: nella rimanente parte riesce incerta la determinazione della corrente a galleria libera.

Quadro 8

# Determinazione del coefficiente d'attrito dell'aria $\rho_1$ contro le pareti dei treni

| N. della esperienza (Tavole III e IV) | Data: Giorno | Data: Ora | Dati relativi ai treni: N. progressivo del treno | N. delle locomotive | N. dei veicoli | $l$ Lunghezza del treno in metri | $w$ Velocità media in Galleria in metri | $e$ Eccesso di pressione sull'esterno all'imbocco Göschenen in mm d'acqua | $V_0$ Velocità della corrente naturale a Galleria libera: letta all'anemometro fisso in m. | $V_0$ media sopra la sezione della Galleria in m. | $V$ Velocità della corrente durante il passaggio dei treni: letta all'anemometro fisso in m. | $V$ media sopra la sezione della Galleria in m. | $\gamma$ Peso di un metro cubo di aria in Kg. | $\rho_1$ Valore del coefficiente d'attrito |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 12 Giugno 1899 | 9.35' | 717 | 1 | – | 15 | 10.– | 0 | 1,50 | 1,67 | 0 | 0 | 1,09 | 0,112 |
| | | | 510 | 1 | 23 | 250 | -8.33 | | | | | | | |
| 2 | " " " | 11.20' | 41 | 1 | 6 | 110 | 15.63 | 0 | 1,75 | 1,93 | 2,60 | 2,81 | " | 0,138 |
| 3 | " " " | 11.40' | 514 | 1 | 18 | 190 | -9.26 | 0 | 1,90 | 2,09 | 0,80 | 0.94 | " | 0,114 |
| 4 | " " " | 12.35' | 511 | 2 | 29 | 300 | 8.62 | 0 | 1,90 | 2,09 | 2,50 | 2,71 | " | 0,162 |
| 5 | " " " | 13.– | 513 | 1 | 29 | 320 | 8.62 | 0 | 2,00 | 2,19 | 1,30 | 1,46 | " | 0,119 |
| | | | 2 | 1 | 10 | 110 | -14.71 | | | | | | | |
| 6 | " " " | 13.20' | 726 | 1 | 20 | 180 | -8.93 | 0 | 2,10 | 2,29 | 1,10 | 1,25 | " | 0,118 |
| 7 | " " " | 14.45' | 516 | 1 | 22 | 230 | -8.33 | 0 | 2,15 | 2,35 | 0,80 | 0,94 | " | 0,143 |
| 8 | " " " | 15.35' | 5 | 2 | 8 | 100 | 11.36 | 0 | 2,00 | 2,19 | 2,40 | 2,61 | " | 0,141 |
| 9 | " " " | 16.5' | 723 | 1 | 18 | 200 | 9.26 | 0 | 1,85 | 2,03 | 2,30 | 2,50 | " | 0,129 |
| 10 | " " " | 16.40' | 517 | 1 | 37 | 380 | 8.93 | 0 | 1,65 | 1,83 | 2,30 | 2,50 | " | 0,105 |
| 11 | 13 Giugno 1899 | 8.50' | 509 | 1 | 22 | 230 | 9.62 | 16 | 1,90 | 2,08 | 3,15 | 3,39 | 1,07 | 0,137 |
| 12 | " " " | 9.40' | 510 | 1 | 23 | 200 | -9.62 | 17.5 | 1,95 | 2,14 | 1,90 | 2,09 | " | 0,122 |
| 13 | " " " | 10.20' | 512 | 1 | 30 | 310 | -9.26 | 17.5 | 2,00 | 2,19 | 1,55 | 1,72 | " | 0,116 |
| 14 | " " " | 11.35' | 41 | 1 | 6 | 110 | 14.71 | 14 | 2,10 | 2,29 | 2,55 | 2,76 | " | 0,160 |
| | | | 514 | 1 | 16 | 160 | -9.26 | | | | | | | |
| 15 | " " " | 12.10' | 511 | 2 | 29 | 300 | 9.26 | 20 | 2.00 | 2,19 | 1.90 | 2,09 | " | 0,174 |
| | | | 52 | 1 | 7 | 120 | -15.63 | | | | | | | |
| 16 | " " " | 14.17' | 45 | 1 | 8 | 120 | 15.63 | 25 | 1.60 | 1,77 | 2,10 | 2,29 | " | 0,138 |
| | | | 56 | 1 | 9 | 140 | -15.63 | | | | | | | |
| 17 | " " " | 14.47' | 516 | 1 | 20 | 220 | -7.14 | 24 | 1,60 | 1,77 | 2,25 | 2,45 | " | 0,132 |
| 18 | 14 Giugno 1899 | 7.50' | 715 | 1 | – | 15 | 8.93 | 0 | 3,20 | 3,44 | 1,60 | 1,77 | 1,09 | 0,178 |
| | | | 720 | 1 | 23 | 260 | -9.26 | | | | | | | |
| 19 | " " " | 14.50' | 516 | 1 | 23 | 250 | -9.26 | 8,5 | 3,30 | 3,54 | 2,60 | 2,81 | " | 0,119 |
| 20 | " " " | 15.30' | 5 | 1 | 10 | 125 | 12.50 | 6,5 | 3,30 | 3,54 | 3,90 | 4,17 | " | 0,174 |
| 21 | 15 Giugno 1899 | 9.50' | 510 | 1 | 22 | 240 | -9.26 | 5,7 | 2.25 | 2,45 | 1,60 | 1,77 | 1,10 | 0,101 |

Quadro 8

| N° della esperienza (tavole III e IV) | Data – Giorno | Data – Ora | Dati relativi ai treni – N° progressivo del treno | N° delle locomotive | N° dei veicoli | $l$ Lunghezza del treno in metri | $W$ Velocità media in Galleria in metri | $e$ Eccesso di pressione sull'esterno all'imbocco Göschenen in $m/m$ d'acqua | $V_0$ Velocità della corrente naturale a Galleria libera – letta all'anemometro fisso in m: | $V_0$ media sopra la sezione della Galleria in m: | $V$ Velocità della corrente durante il passaggio dei treni – letta all'anemometro fisso in m: | $V$ media sopra la sezione della Galleria in m: | $\gamma$ Peso di un metro cubo di aria in Kg: | $\rho_1$ Valore del coefficiente d'attrito |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 22 | 15 Giugno 1899 | 10.20' | 512 | 1 | 18 | 200 | -9,62 | 0 | 2,20 | 2,40 | 1,0[illegible] | 1,15 | 1,10 | 0,114 |
| 23 | " " " | 14.15' | 45 | 1 | 10 | 135 | 13,89 | 7,5 | 2,40 | 2,61 | 1.70 | 1,88 | " | 0,139 |
| | | | 56 | 1 | 10 | 140 | -15,63 | | | | | | | |
| 24 | " " " | 14.45' | 516 | 1 | 19 | 180 | -10,42 | 7 | 2,50 | 2,71 | 1,[illegible] | 1,98 | " | 0,118 |
| 25 | " " " | 16.5' | 723 | 1 | 29 | 315 | 8,62 | 6,8 | 2,60 | 2,81 | 3,30 | 3,54 | " | 0,174 |
| 26 | 16 Giugno 1899 | 9.45' | 510 | 1 | 24 | 260 | -9,62 | 8 | 2,75 | 2,97 | 2,[illegible] | 2,19 | 1,09 | 0,106 |
| 27 | " " " | 10.20' | 512 | 1 | 21 | 230 | -10,– | 0 | 2,70 | 2,92 | 1,40 | 1,57 | " | 0,119 |
| 28 | " " " | 12.5' | 52 | 1 | 7 | 150 | -15,63 | 0 | 2,60 | 2,81 | 0 | 0 | " | 0,106 |
| 29 | " " " | 13.10' | 513 | 1 | 15 | 175 | 9,26 | 0 | 2,10 | 2,29 | 1.30 | 1,46 | " | 0,141 |
| | | | 726 | 1 | 18 | 195 | -9,62 | | | | | | | |
| 30 | " " " | 16.– | 723 | 1 | 52 | 540 | 6,90 | 0 | 0,80 | 0,94 | 1,70 | 1,88 | " | 0,114 |
| 31 | " " " | 16.12' | 723 | 1 | 52 | 540 | 10,– | 18 | 0,80 | 0,94 | 3,30 | 3,54 | " | 0,162 |
| 32 | 20 Giugno 1899 | 9.40' | 510 | 1 | 25 | 260 | -8,93 | 19,5 | -1,80 | -1,98 | -0,75 | -0,89 | 1,08 | 0,102 |
| 33 | " " " | 10.50' | 3 | 1 | 13 | 140 | 12,50 | 0 | -1,80 | -1,98 | 0 | 0 | " | 0,106 |
| 34 | " " " | 11.25' | 41 | 1 | 6 | 120 | 15,63 | 10 | -1,80 | -1,98 | 0 | 0 | " | 0,104 |
| | | | 514 | 1 | 25 | 270 | -9,62 | | | | | | | |
| 35 | " " " | 12.10' | 511 | 2 | 33 | 350 | 8,93 | 11 | -1,80 | -1,98 | 1,40 | 1,57 | " | 0,100 |
| | | | | | | | | | | | | Valore medio di $\rho_1$ = | | 0,130 |

I valori di $\rho_1$ furono determinati mediante la seguente formula generale:

$$\rho_1 = \frac{\frac{2g\,(e + e'_0)}{\gamma} - V^2 R - \Sigma\,(V-W)^2 B - \Sigma\,(V - W\frac{S}{\Omega})^2 R_3}{\Sigma\,(V-W)^2 A}$$

nella quale i termini $V^2$, $(V-W)^2$, $(V-W\frac{S}{\Omega})^2$ devono essere presi col segno cambiato quando siano negativi i corrispondenti valori di $V$, $V-W$ e $V-W\frac{S}{\Omega}$. Inoltre nel caso di $V$ negativo alla pressione di $e + e'_0$ si deve sostituire $e + e'_0 + e_1$, dove $e_1 = \frac{\gamma}{2g} V^2$ rappresenta, in $m/m$ di colonna d'acqua, la perdita di carico che si verifica per imprimere all'aria la velocità $V$, ed $e'_0 = \frac{\gamma}{2g} V_0^2 \left(1 + \rho \frac{L}{D}\right)$ è la pressione corrispondente alla velocità della corrente naturale e si deve prendere col segno di $V_0$.

I simboli introdotti nella formola hanno i seguenti significati:

$$A = \frac{\Omega^2}{(\Omega - S)^2} \; \frac{l\,p}{4\,(\Omega - S)} \;;\quad B = \frac{\Omega^2}{(\Omega - S)^2} \left(\frac{1}{\rho_c^2} + \frac{S^2}{\Omega^2} - 1\right) \;;\quad R = \rho \frac{L_1 - \Sigma l}{D} \;;\quad R_3 = \rho \; \frac{l\,P}{4\,(\Omega - S)} \; \frac{\Omega^2}{(\Omega - S)^2}$$

essendo il coefficiente di contrazione $\rho_c = 0,98$.

Quadro 9

# Determinazione del coefficiente $\mu$ di effetto utile dell'apparecchio Saccardo

| Data | | Pressione | | Velocità della corrente | | Portata | | | $e_0 = \frac{q^2}{\omega_0^2} \cdot \frac{\gamma}{2g}$ Pressione | $\mu$* Valore del |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Giorno | Ora | nella camera dell'ugello E | nella Galleria imbocco Göschenen e | lette all'anemometro fisso — | medie sopra la sezione della Galleria V | dell'ugello $Q=\sqrt{\frac{2g}{\gamma}(E-e_0)}$ — | della corrente in Galleria $V\,\Omega$ — | del rigurgito dietro l'ugello $q=Q-V\,\Omega$ — | dietro l'ugello dovuta al rigurgito — | coefficiente di effetto utile dell'apparecchio Saccardo |
| 14 Giugno 1899 | 16. _ | 39 | 25 | 3,95 | 4,18 | 300,2 | 177,2 | 123,0 | 0,8 | 0,83 |
| 13 Giugno 1899 | 16. _ | 24,0 | 14,0 | 3,50 | 3,75 | | | | | |
| 14 » » | 10.50' | 8,0 | 4,0 | 3,50 | 3,75 | | | | | |
| 15 » » | 16.50' | 21,0 | 11,0 | 3,50 | 3,75 | | | | | |
| 16 » » | 16.45' | 36,5 | 19,0 | 3,50 | 3,75 | | | | | |
| 15 » » | 8.50' | 11,5 | 4,5 | 3,40 | 3,65 | | | | | |
| 16 » » | 13.40' | 48,0 | 25,0 | 3,40 | 3,65 | | | | | |
| 15 » » | 16.10' | 16,5 | 6,8 | 3,30 | 3,54 | | | | | |
| Medie | | 23,6 | 12,0 | | 3,69 | 234,6 | 156,5 | 78,1 | 0,3 | 0,67 |
| 13 Giugno 1899 | 11. _ | 23,5 | 14,0 | 3,20 | 3,44 | | | | | |
| 13 » » | 8.50' | 24,0 | 16,0 | 3,10 | 3,33 | | | | | |
| 14 » » | 10.30' | 8,0 | 4,0 | 2,85 | 3,07 | | | | | |
| Medie | | 18,5 | 11,3 | | 3,28 | 207,4 | 139,1 | 68,3 | 0,3 | 0,32 |
| 13 Giugno 1899 | 11.25' | 23,0 | 14,0 | 2,60 | 2,81 | | | | | |
| 14 » » | 14. | 44,0 | 26,0 | 2,30 | 2,50 | | | | | |
| 13 » » | 14.50' | 38,0 | 24,0 | 2,25 | 2,45 | | | | | |
| 13 » » | 14.15' | 39,0 | 25,0 | 2,10 | 2,29 | | | | | |
| 16 » » | 9.45' | 17,5 | 7,5 | 2,00 | 2,19 | | | | | |
| 13 » » | 12.10' | 32,0 | 20,0 | 1,90 | 2,09 | | | | | |
| 13 » » | 9.40' | 26,0 | 17,0 | 1,90 | 2,09 | | | | | |
| Medie | | 31,3 | 19,1 | | 2,35 | 265,6 | 99,6 | 166,0 | 1,4 | 0,72 |
| 15 Giugno 1899 | 14.50' | 16,0 | 7,0 | 1,80 | 1,98 | | | | | |
| 20 » » | 15.20' | 43,0 | 25,5 | 1,80 | 1,98 | | | | | |
| 14 » » | 17.15' | 13,0 | 9,0 | 1,70 | 1,88 | | | | | |
| 15 » » | 14.20' | 16,0 | 7,5 | 1,70 | 1,88 | | | | | |
| 15 » » | 9.50' | 12,0 | 5,5 | 1,60 | 1,77 | | | | | |
| 13 » » | 10.20' | 26,0 | 17,5 | 1,55 | 1,72 | | | | | |
| 16 » » | 8.40' | 16,5 | 6,5 | 1,50 | 1,67 | | | | | |
| 20 » » | 12.10' | 20,0 | 11,0 | 1,30 | 1,60 | | | | | |
| Medie | | 20,3 | 11,2 | | 1,81 | 213,2 | 76,7 | 134,5 | 1,0 | 0,64 |
| 20 Giugno 1899 | 9.25' | 28,0 | 17,0 | 0,60 | 0,73 | 245,8 | 31,0 | 214,8 | 2,4 | 0,63 |
| 20 Giugno 1899 | 10.30' | 15,0 | 10,0 | 0, _ | 0, _ | 177,8 | 0, _ | 177,8 | 1,6 | 0,67 |
| 20 Giugno 1899 | 9.40' | 30,0 | 19,0 | −0,60 | −0,73 | | | | | |
| » » » | 11.50' | 18,0 | 12,0 | −0,60 | −0,73 | | | | | |
| Medie | | 24,0 | 15,5 | | −0,73 | 221,5 | −31,0 | 252,5 | 3,2 | 0,58 |
| Media generale del coefficiente $\mu$ | | | | | | | | | | 0,69 |

* Per la determinazione di $\mu$ vedasi Nota illustrativa § 3

# Elementi per la determinazione del lavoro

| *Formole da applicarsi* | *Significato dei diversi simboli* |
|---|---|
| Attrito dei pattini sulle guide<br>$\varphi_1 = f \frac{S}{4l}$ | $f$ = Coefficiente di attrito del metallo sopra metallo regolar.te lubrif.to<br>$S$ = Corsa degli stantuffi<br>$l$ = Lunghezza della biella |
| Attrito nel perno dei pattini<br>$\varphi_2 = f \frac{d_1}{S} \text{ arc. tg. } \frac{S}{2l}$ | $d_1$ = Diametro del perno del pattino |
| Attrito nel bottone di manovella<br>$\varphi_3 = f \frac{\pi d_2}{2S}$ | $d_2$ = Diametro del perno della manovella |
| Attrito nei supporti dell'albero motore<br>$\varphi_4 = f \frac{d_3}{2} \left[ \left\{ \text{risult.e } \frac{\pi}{2S}, \frac{1}{D_1}, \frac{9 \pi G_1}{5.75.60} \frac{n}{L_i} \right\} + \right.$<br>$\left. + \left\{ \text{risult.e } -\frac{\pi}{2S}, \frac{1}{D_1}, \frac{9 \pi G_1}{5.75.60} \frac{n}{L_i} \right\} \right]$<br>angolo della $\frac{9 \pi G_1}{5.75.60} \frac{n}{L_i}$ con $\frac{1}{D_1} = \alpha$; con $\frac{\pi}{2S}$ e $-\frac{\pi}{2S} = 90°$<br>Le risultanti vennero determinate grafic.e pei valori di $\frac{n}{L_i}$ | $d_3$ = Diametro dei perni dell'albero motore<br>$G_1$ = Peso dell'asse montato della locomotiva col rocchetto<br>$D_1$ = Diametro del rocchetto montato.<br>$\alpha$ = Inclinazione della retta che unisce i centri delle due ruote di ingranaggio sulla orizzontale. |
| Attrito nei denti degli ingranaggi<br>$\varphi_5 = 0{,}5 \left( \frac{1}{z} + \frac{1}{Z} \right)$ | $z$ = Numero dei denti della piccola ruota dentata<br>$Z$ = Numero dei denti della grande ruota dentata |
| Attrito nei perni del contralbero (parte compresa fra i due supporti della ruota dentata grande)<br>$\varphi_6 = f d_4 \sqrt{\left( \frac{G_2 \pi}{60.75} \frac{n}{L_i} \right)^2 + \frac{1}{D_2^2} - 2 \frac{G_2 \pi}{60.75} \frac{n}{L_i} \frac{1}{D_2} \cos. \alpha}$ | $d_4$ = Diametro dei perni del contralbero<br>$G_2$ = Peso del mezzo contralbero e della ruota dentata grande<br>$D_2$ = Diametro della ruota dentata grande. |
| Attrito nei perni del contralbero (parte compresa fra i due supporti della puleggia a funi)<br>Attrito nei perni dell'albero del ventilatore (parte compresa fra i due giunti d'attacco)<br>ciascuno: $\varphi_7 = f d_5 \sqrt{\left( \frac{G_3 \pi}{60.75} \frac{n}{L_i} \right)^2 + \frac{g}{D_3^2}}$ | $d_5$ = Diametro dei perni del contralbero e albero del ventilat.re<br>$G_3$ = Peso delle puleggie a funi e del tratto d'albero corrispond.te<br>$D_3$ = Diametro delle due puleggie a funi. |
| Rigidezza delle funi (cadauna puleggia)<br>$\varphi_8 = \frac{m \delta^2}{D_3}$ | $m$ = Coefficiente di rigidezza per canapa usata<br>$\delta$ = Diametro delle funi (in numero di 10) |
| Stiramento delle funi<br>$\varphi_9 = \frac{60.75}{\pi D_3 E a} \frac{L_i}{n}$ | $E$ = Modulo di elasticità delle funi per $mm^2$<br>$a$ = Area complessiva delle funi (in numero di 10) |
| Valore complessivo del coefficiente $\varphi = (1-\varphi_1)(1-\varphi_2)(1-\varphi_3)(1-\varphi_4)(1-\varphi_5)(1-\varphi_6)(\overline{1-\varphi_7})^2(\overline{1-\varphi_8})^2(1-\varphi_9)$ | |

Quadro 10

# passivo del ventilatore sotto carico ed a vuoto

| Valore numerico dei simboli | Valore numerico delle formole per $\frac{L_i}{n}$ = 5 | = 4 | = 3 | = 2 | = 1 | = ½ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,075<br>m: 0,600<br>» 1,540 | 0,0073 | | | | | |
| m: 0,040 | 0,0010 | | | | | |
| m: 0,100 | 0,0196 | | | | | |
| m: 0,170<br>Kg: 4500<br>m: 0,720<br>42° | 0,0223 | 0,0252 | 0,0293 | 0,0385 | 0,0764 | 0,1471 |
| N: 30<br>» 54 | 0,026 | | | | | |
| m: 0,180 media<br>Kg: 2700<br>m: 1,295 | 0,0073 | 0,0071 | 0,0069 | 0,0086 | 0,0182 | 0,0437 |
| m: 0,180 (media)<br>Kg: 3000<br>m: 3,000 | 0,0147 | 0,0152 | 0,0165 | 0,0196 | 0,0314 | 0,0583 |
| 18<br>m: 0,05 | 0,015 | | | | | |
| Kg: 250<br>10 $\frac{\overline{50}^2 \pi}{4}$ = 19500 $m^2/m$ | 0,0005 | 0,0004 | 0,0003 | 0,0002 | 0,0001 | 0,00005 |
| | 0,865 | 0,862 | 0,856 | 0,842 | 0,782 | 0,666 |
| per $\frac{L_i}{n}$ = | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | $\frac{1}{2}$ |

*Osservazioni*

$L_i$ = Forza in cavalli indicati, trasmessa a partire dalla testa a croce della motrice.
$n$ = Numero dei giri al 1' del Ventilatore.

Il valore di $L_i$ che entra nelle espressioni $\varphi_4$, $\varphi_6$, $\varphi_7$ e $\varphi_9$ dovrebbe essere ridotto degli attriti precedenti: in via di approssimazione, per calcolare il diagramma sottoindicato, si è tenuto conto della forza trasmessa dalla testa a croce.

La forza trasmessa dalla testa a croce è data dalla forza indicata nei cilindri della motrice, diminuita della forza indicata corrispondente al funzionamento della motrice a vuoto.

Per avere la forza indicata netta della motrice a vuoto, bisogna dedurre dalla forza ricavata dai diagrammi a vuoto, quella corrispondente al funzionamento delle trasmissioni a vuoto.

Essendo in questo caso trascurabili l'allungamento delle funi e la loro tensione, come pure la reazione degli ingranaggi e della biella sui supporti, di fronte al peso proprio degli organi in movimento, si avrà che il lavoro dell'attrito corrispondente al funzionamento a vuoto delle trasmissioni è dato in HP da:

$$l_o = \frac{f \pi n}{60 \times 75} \cdot \frac{\left(d_5 G_5 \frac{2-\varphi_8}{1-\varphi_8} + d_4 G_2\right) \frac{1}{1-\varphi_5} + d_3 G_1}{(1-\varphi_3)(1-\varphi_2)(1-\varphi_1)} = 0{,}128\, n$$

Fatta tale deduzione il lavoro a vuoto rappresenta le resistenze passive dovute allo sfregamento dello stantuffo e relativo stelo del cassetto e organi di distribuzione, che si possono ritenere costanti.

Coefficiente d'attrito

φ=0,900
0,850
0,800
0,750
0,700
0,650
0,600
Rapp° $\frac{L_i}{n}$ = ½ 1 2 3 4 5

Quadro 11

# Lavoro assorbito dalla Motrice a vuoto (fino alla testa a croce)

| Data | | N.° giri Ventilatore durante l'esperienza | Rilievi all'indicatore di pressione | | (**) Forza indicata in HP | N.i normali di giri del Ventilatore | (***) Forza indicata ridotta alle velocità normali | | (****) Lavoro passivo della trasmissione a vuoto fino alla testa a croce $l_o$ | Lavoro effettivo assorbito dalla motrice a vuoto fino alla testa a croce $L_o$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Giorno | Ora | | area del diagramma in m/m² | (*) Pressione media rettificata in atm.e | | | per ogni esperienza | media $L'_o$ | | |
| 19 Giugno 99 | dalle 8h 30' | 49<br>49<br>49 | 445<br>400<br>445 | 0,65<br>0,59<br>0,65 | 47,3<br>42,5<br>47,3 | 50 | 48,3<br>43,4<br>48,3 | 46,6 | 6,4 | 40,2 |
| 19 Giugno 99 | | 60<br>60<br>60 | 440<br>475<br>465 | 0,64<br>0,69<br>0,67 | 56,5<br>61,7<br>60,5 | 60 | 56,5<br>61,7<br>60,5 | 59,6 | 7,7 | 51,9 |
| 19 Giugno 99 | | 70<br>70<br>70 | 460<br>450<br>535 | 0,67<br>0,65<br>scartata | 68,5<br>67,2 | 70 | 68,5<br>67,2<br>— | 67,8 | 9,0 | 58,8 |
| 19 Giugno 99 | | 80<br>80<br>80 | 470<br>480<br>430 | 0,67<br>0,69<br>scartata | 79,7<br>81,5 | 80 | 79,7<br>81,5<br>— | 80,6 | 10,2 | 70,4 |
| 19 Giugno 99 | | 89<br>89<br>89 | 530<br>490<br>550 | 0,76<br>0,70<br>0,79 | 100,0<br>92,3<br>103,7 | 90 | 101,2<br>93,4<br>104,9 | 99,8 | 11,5 | 88,3 |
| 19 Giugno 99 | alle 10h | 100<br>100<br>102 | 570<br>580<br>545 | 0,82<br>0,83<br>0,78 | 120,8<br>123,1<br>118,2 | 100 | 120,8<br>123,1<br>115,8 | 119,9 | 12,8 | 107,1 |

(*) La pressione media venne dedotta dall'area dei diagrammi, tenendo conto della deformazione dovuta alla dissimetria del fulcro sul quale era imperniata la leva che faceva funzionare l'indicatore di pressione, della differente lunghezza della base dei diagrammi in ragione delle differenti velocità della motrice, e del volume generato dagli steli degli stantuffi.

(**) La forza indicata venne dedotta dalla pressione media $p_m$ con la formula

$$L_i = 4 S \frac{n}{60} p_m \frac{10330^{kg}}{75} \frac{Z}{z}$$

ove
- $S$ = corsa dei due stantuffi a doppio effetto = m. 0,60
- $n$ = numero dei giri del ventilatore
- $\frac{Z}{z}$ = rapporto fra il numero dei denti delle due ruote di ingranaggio, ossia fra la velocità della motrice e quella del ventilatore = $\frac{54}{30}$

(***) La forza venne ridotta proporzionalmente al numero dei giri

(****) Il lavoro delle resistenze passive venne determinato con la $l_o = 0,128\, n$ (Vedere Quadro 10)

Quadro 12

## Lavoro effettivo assorbito dal ventilatore funzionante coll'ugello coplet.te aperto

| Data – Giorno | Data – Ora | N.° dei giri $n_1$ del Ventilatore durante l'esperienza | Rilievi all'indicatore di pressione – Area del diagramma in $m/m^2$ | Rilievi all'indicatore di pressione – Pressione media rettificata in Atmosf.e | $L$ Forza indicata in $HP$ | N.° $n$ normali di giri del Ventilatore | Forza indicata (*) ridotta alle velocità normali – per ogni esperienza | Forza indicata (*) ridotta alle velocità normali – media | Lavoro ef-fettivo netto sull'albero del Ventilatore $L_e$ (**) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 15 Giugno 1899 | 11.31′ | 50 | 950 | 1.23 | 103.1 | | 103.1 | | |
| | | 50 ½ | 940 | 1.21 | 103.1 | | 101.8 | | |
| | alle | 53 | 1050 | 1.54 | 121.5 | 50 | 107.2 | 103.2 | 50.9 |
| | | 50 | 960 | 1.41 | 104.2 | | 104.2 | | |
| | 12.15′ | 50 | 920 | 1.35 | 99.9 | | 99.9 | | |
| » | 15.– | 59 | 1170 | 1.70 | 147.8 | | 153.6 | | |
| | | 59 | 1150 | 1.67 | 145.3 | | 151.0 | | |
| | alle | 59 | 1160 | 1.68 | 146.5 | 60 | 152.2 | 151.7 | 82.9 |
| | | 60 | 1210 | 1.75 | 155.8 | | 155.8 | | |
| | 16.10′ | 60 | 1135 | 1.64 | 146.1 | | 146.1 | | |
| » | 16.25′ | 69 | 1370 | 1.99 | 202.5 | | 209.2 | | |
| | | 69 | 1440 | 2.00 | 211.1 | | 218.1 | | |
| | alle | 69 | 1425 | 2.07 | 208.9 | 70 | 215.8 | 219.0 | 137.0 |
| | | 68 | 1420 | 2.06 | 206.4 | | 220.7 | | |
| | 17.5′ | 68 | 1475 | 2.14 | 216.2 | | 231.4 | | |
| » | 17.15′ | 78 | 1780 | 2.55 | 293.5 | | 312.9 | | |
| | | 78 | 1755 | 2.51 | 291.5 | | 310.7 | | |
| | alle | 78 | 1760 | 2.52 | 290.4 | 80 | 309.5 | 307.6 | 202.6 |
| | | 78 | 1720 | 2.46 | 285.7 | | 304.5 | | |
| | 18.30′ | 79 | 1740 | 2.49 | 291.0 | | 300.6 | | |
| 16 Giugno 1899 | 16.15′ | 89 | 2215 | 3.17 | 417.6 | | 429.9 | | |
| | | 89 | 2235 | 3.20 | 424.0 | | 436.5 | | |
| | alle | 89 | 2160 | 3.10 | 407.3 | 90 | 419.2 | 426.6 | 299.5 |
| | | 88 | 2145 | 3.08 | 401.8 | | 425.3 | | |
| | 16.55′ | 89 | 2175 | 3.12 | 410.1 | | 422.1 | | |
| » | 17.38′ | 100 | 2530 | 3.63 | 536.6 | | 536.6 | | |
| | | 100 | 2490 | 3.57 | 528.0 | | 528.0 | | |
| | alle | 100 | 2530 | 3.63 | 536.6 | 100 | 536.6 | 534.4 | 369.2 |
| | | 100 | 2540 | 3.64 | 538.6 | | 538.6 | | |
| | 17.46′ | 100 | 2510 | 3.60 | 532.4 | | 532.4 | | |

(*) Per ridurre la forza indicata in relazione al numero di giri $n$, dati dalla esperienza venne applicata in via di approssimazione la formula $\left(L - L_0' \frac{n_1}{n}\right)\frac{n^3}{n_1^3} + L_0'$

(**) Il lavoro effettivo venne determinato applicando il coefficiente che si deduce dal diagramma del Quadro 10 per $\frac{L-L_0}{n}$, alla forza depurata del lavoro a vuoto cioè $(L-L_0)\varphi = L_e$ — I valori di $L_0'$ ed $L_0$ si deducono dal Quadro 11.

Quadro 13

## Lavoro effettivo assorbito dal ventilatore funzionante coll'ugello parzial.$^{te}$ chiuso

| Data | | $n_1$ N° dei giri del Ventilatore durante l'esperienza | Rilievi all'indicatore di pressione | | $L$ Forza indicata in HP. | $n$ N° normali di giri del Ventilatore | (*) Forze indicate ridotte alle velocità normali | | (**) Lavoro effettivo netto sull'albero del ventilatore $L_e$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Giorno | Ora | | Area del diagramma in $m/m^2$ | Pressione media rettificata in atmosfere | | | per ogni esperienza | media | |
| Apertura dell'ugello $m^2$ 6.00 | | | | | | | | | |
| 17 Giugno 1899 | 14. 8' | 60 | 955 | 1. 38 | 123.0 | 60 | 123. 0 | 116.7 | 51.0 |
| | alle | 60 | 845 | 1. 23 | 108.8 | | 108. 8 | | |
| | 14.15' | 60 | 910 | 1. 32 | 118.3 | | 118. 3 | | |
| 17 Giugno 1899 | 14.20' | 100 | 1730 | 2.48 | 371.0 | 100 | 371. 0 | 377.4 | 231. 1 |
| | alle | 100 | 1720 | 2.47 | 372.9 | | 372. 9 | | |
| | 14.25' | 100 | 1760 | 2. 52 | 377.4 | | 377. 4 | | |
| Apertura dell'ugello $m^2$ 8.80 | | | | | | | | | |
| 17 Giugno 1899 | 14.47' | 59 | 990 | 1. 44 | 125.0 | 60 | 129. 6 | 137.4 | 70.5 |
| | alle | 60 | 1065 | 1. 56 | 137.1 | | 137. 1 | | |
| | 14.52' | 60 | 1130 | 1. 64 | 145.5 | | 145. 5 | | |
| 17 Giugno 1899 | 14.55' | 99 | 2150 | 3.08 | 451.0 | 100 | 462.6 | 458.2 | 302.0 |
| | alle | 100 | 2140 | 3.07 | 453.7 | | 453.7 | | |
| | 14.59' | 100 | 2160 | 3. 10 | 458.2 | | 458.2 | | |

(*) La riduzione della forza in relazione al numero dei giri venne fatta come pel quadro N. 12

(**) $L_e$ venne determinato come nel Quadro precedente

Quadro 14

# Lavoro effettivo assorbito dal ventilatore funzionante coll'ugello completamente chiuso

| Data – Giorno | Data – Ora | $n_1$ N° dei giri del Ventilatore durante l'esperienza | Rilievi all'indicatore di pressione – Area del diagramma in $m/m^2$ | Rilievi all'indicatore di pressione – Pressione media rettificata in Atmosf.$^{re}$ | $L$ Forza indicata in HP | $n$ N° normali di giri del Ventilatore | (*) Forza indicata ridotta alle velocità normali – per ogni esperienza | (*) Forza indicata ridotta alle velocità normali – media | (**) Lavoro effettivo netto sull'albero del Ventilatore $L_e$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 17 Giugno 1899 | 8.35′ alle 8.55′ | 50<br>50<br>51 | 550<br>610<br>600 | 0.61<br>0.90<br>0.88 | 60.4<br>66.2<br>66.5 | 50 | 60.4<br>66.2<br>64.9 | 63.8 | 15.7 |
| » | 9.12′ alle 9.27′ | 61<br>62<br>60 | 720<br>730<br>700 | 1.04<br>1.06<br>1.02 | 94.3<br>97.4<br>89.3 | 60 | 92.2<br>93.2<br>89.3 | 91.5 | 27.9 |
| » | 10.10′ alle 10.20′ | 71<br>68<br>68 | 810<br>810<br>810 | 1.17<br>1.17<br>1.17 | 123.5<br>117.6<br>118.6 | 70 | 121.0<br>122.5<br>123.5 | 122.3 | 48.6 |
| » | 10.55′ alle 11.5′ | 79<br>79<br>79 | 915<br>950<br>960 | 1.31<br>1.36<br>1.38 | 153.1<br>158.9<br>159.6 | 80 | 155.6<br>161.5<br>162.3 | 159.8 | 70.6 |
| » | 11.25′ alle 11.35′ | 90<br>91<br>91 | 1075<br>1030<br>1055 | 1.54<br>1.49<br>1.51 | 206.6<br>200.3<br>203.8 | 90 | 206.6<br>197.2<br>200.6 | 201.5 | 91.1 |
| » | 11.50′ alle 11.56′ | 100<br>100<br>100 | 1230<br>1170<br>1220 | 1.76<br>1.69<br>1.75 | 262.4<br>248.1<br>260.2 | 100 | 262.4<br>248.1<br>260.2 | 256.9 | 122.8 |

(*) Per ridurre la forza indicata in relazione al numero dei giri $n_1$ dati dall'esperienza in confronto al numero normale $n$ di giri si è applicata in via di approssimazione la formula $\left(L - L'_0 \frac{n_1}{n}\right)\frac{n^2}{n_1^2} + L'_0$

(**) $L_e$ venne determinato come nel Quadro precedente

# Quadro riassuntivo dei coefficienti caratteristici e di rendimento

| Data – Giorno | Data – Ora | V<br>Velocità media della corrente in Galleria durante l'esperienza | $\mu$<br>Numero dei giri dei ventilatori al 1' | E<br>Pressione media nella camera dell'ugello | $\varepsilon$<br>Depressione media nelle camere di aspirazione | $e_o$<br>Pressione dietro l'ugello corrispondente alla velocità di rigurgito | $E+\varepsilon$<br>Differenza di pressione prodotta dai ventilatori | $Q=\omega\sqrt{\frac{2g}{\gamma}(E-e_o)}$<br>Portata complessiva dei ventilatori misurata alla bocca dell'ugello | $L_p=\frac{QE}{75}$<br>Lavoro pneumatico utile dei ventilatori | $l_p=\frac{Q\varepsilon}{75}$<br>Lavoro pneumatico di aspirazione dei ventilatori | $L'_p=L_p+l_p$<br>Lavoro pneumatico totale prodotto dai ventilatori |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Quadro 15** | | | | | | *Esperienze ad ugello completamente chiuso* | | | | | |
| 15 Giugno 1899 | 11.31' a 12.15' | 2.50 | 50 | 11.0 | 1.8 | 0.2 | 12.8 | 158.2 | 23.2 | 3.8 | 27.0 |
| " " " | 15 - a 16.10' | 3.33 | 60 | 15.8 | 2.6 | 0.2 | 17.4 | 189.8 | 40.0 | 6.6 | 46,6 |
| " " " | 16.25' a 17.5' | 3.54 | 70 | 20,8 | 3.1 | 0.3 | 23.9 | 217.8 | 60.4 | 9.0 | 69.4 |
| " " " | 17.15' a 18.30' | 3,75 | 80 | 27.0 | 3.9 | 0.5 | 30.9 | 247.6 | 89.1 | 12.9 | 102.0 |
| 16 " " | 16.15' a 16.55' | 3,44 | 90 | 36.0 | 4.6 | 1,0 | 40,6 | 286.6 | 137.5 | 17.6 | 155.1 |
| " " " | 17.38' a 17.47' | 3,75 | 100 | 44.0 | 5.5 | 1.3 | 49.5 | 316.1 | 185,4 | 23.2 | 208.6 |
| **Quadro 16** | | | | | | *Esperienze ad ugello parzialmente chiuso* | | | | | |
| 17 Giugno 1899 | 14.47' a 14.52' | — | 60 | 17.7 | 2.1 | 0.2 (*) | 19.8 | 155.9 | 36.8 | 4.4 | 41,2 |
| " " " | 14.55' a 14.59' | — | 100 | 51.9 | 4.1 | 1.3 | 56.0 | 255.2 | 176.5 | 13.9 | 190.4 |
| " " " | 14.8' a 14.15' | — | 60 | 18.1 | 1.2 | 0.1 (*) | 19.3 | 112.3 | 27.1 | 1.8 | 28.9 |
| " " " | 14.20' a 14.26' | — | 100 | 57.8 | 2.5 | 0.9 | 60.3 | 200.0 | 154.1 | 6.7 | 160.8 |

Quadro 17

## Coefficienti relativi al funzionamento del ventilatore a vuoto
(ugello completamente chiuso)

| Data – Giorno | Data – Ora | n<br>Numero dei giri dei ventilatori | E<br>Pressione nella camera d'aria | $L_e$<br>Lavoro effettivo assorbito dall'asse dei ventilatori | $\frac{E}{\gamma n^2}$<br>Coefficiente di proporzionalità al quadrato del numero dei giri | Osservazioni |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 17 Giugno 1899 | 8.35' a 8.55' | 50 | 15.2 | 15.7 | 0,00562 | I valori di E ed $L_e$ vennero |
| " " " | 9.12' a 9.27' | 60 | 22.5 | 27.9 | 0. 00574 | desunti dalla media di 3 espe- |
| " " " | 10.10' a 10.20' | 70 | 30.9 | 48.6 | 0. 00578 | rienze. |
| " " " | 10.55' a 11.5' | 80 | 40.4 | 70.6 | 0, 00578 | Per i valori di $L_e$ vedasi |
| " " " | 11.25' a 11.35' | 90 | 50.7 | 91.1 | 0, 00573 | Quadro 14. |
| " " " | 11.50' a 11.56' | 100 | 65.7 | 122.8 | 0. 00601 | |

(*) Non essendosi lette durante tali esperienze le velocità della corrente in Galleria i valori di $e_o$ vennero determinati approssimativamente per interpolazione servendosi dei risultati del Quadro precedente

## ...ei ventilatori determinati in base alle esperienze

| $L_e$ Lavoro meccanico effettivo assorbito dall'asse dei ventilatori | $\eta = \frac{L'_p}{L_e}$ Coefficiente di rendimento meccanico dei ventilatori secondo l'esperienze del Bottardo | $\eta = 0.31 + 0.003\,n$ Coefficiente di rendimento meccanico secondo le esperienze di Fracchia | $\frac{Q}{n}$ Coefficiente di proporzionalità al numero dei giri | $\frac{E}{\gamma n^2}$ Coefficiente di proporzionalità al quadrato del numero dei giri | $\frac{\varepsilon}{\gamma n^2}$ Coefficiente di proporzionalità al quadrato del numero dei giri | $\frac{L_p}{\gamma n^3}$ Coefficiente di proporzionalità al cubo del numero dei giri | $\frac{l_p}{\gamma n^3}$ Coefficiente di proporzionalità al cubo del numero dei giri | Osservazioni |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Area dell'orificio di efflusso m: 11,40.** | | | | | | | | I lavori di E ed ε vennero desunti dalla |
| 50.9 | 0.53 | 0,46 | 3.16 | 0,00404 | 0,000660 | 0,000170 | 0,0000279 | media di almeno 5 esperienze. Quelli di |
| 82.9 | 0.56 | 0,49 | 3,16 | 0.00402 | 0,000662 | 0,000169 | 0,0000281 | $e_0$ vennero ricavati per successive appros |
| 137.0 | 0.51 | 0,52 | 3.11 | 0.00389 | 0,000580 | 0,000161 | 0,0000240 | simazioni tenendo conto della quantità |
| 202.6 | 0.51 | 0.56 | 3.10 | 0,00387 | 0,000559 | 0,000159 | 0,0000231 | d'aria che entrava in galleria e di quella |
| 299.5 | 0.52 | 0.59 | 3.18 | 0.00404 | 0,000516 | 0.000172 | 0.0000220 | che rigurgitava. |
| 369.2 | 0.57 | 0.61 | 3,16 | 0,00400 | 0,000500 | 0,000168 | 0,0000211 | I valori di $L_e$ vennero ricavati dal |
| Coefficienti medi | | | 3.14 | 0,00398 | 0,000580 | 0,000166 | 0,0000244 | Quadro 12. |
| **Area dell'orificio di efflusso m² 8,80** | | | | | | | | |
| 70.5 | 0,59 | 0,49 | 2,60 | 0,00441 | 0,000536 | 0.000157 | 0,0000187 | I valori di E ed ε vennero de- |
| 302.0 | 0.63 | 0.61 | 2.55 | 0.00477 | 0,000376 | 0,000162 | 0,0000128 | sunti dalla media di almeno 3 espe- |
| **Area dell'orificio di efflusso m² 6,00** | | | | | | | | rienze. Quelli di $e_0$ vennero rica- |
| 51.0 | 0.57 | 0.49 | 1,85 | 0,00462 | 0,000306 | 0,000115 | 0,0000077 | vati come sopra. |
| 231.1 | 0.70 | 0.61 | 2,00 | 0,00530 | 0.000229 | 0.000141 | 0,0000051 | I valori di $L_e$ risultano dal Quadro 13. |

Quadro 18

## Determinazione dei diversi elementi dei ventilatori per velocità superiori a quelle sperimentate, mediante l'applicazione dei coefficienti medî del Quadro 15

| n Numero dei giri dei ventilatori — | E Pressione utile nella camera d'aria $E = 0{,}00398\,\gamma n^2$ | ε Depressione nella camera d'aspirazione $\varepsilon = 0{,}00058\,\gamma n^2$ | E + ε Differenza totale di pressione prodotta dai ventilatori — | Q Portata complessiva dei ventilatori $Q = 3.14\,n$ | $L_p$ Lavoro pneumatico alla bocca dell'ugello $L_p = 0{,}000166\,\gamma n^3$ | $l_p$ Lavoro pneumatico perduto nell'aspirazione $l_p = 0{,}0000244\,\gamma n^3$ | $L'_p = L_p + l_p$ Lavoro pneumatico totale — | $L_e = \frac{1}{\eta} L'_p$ Lavoro effettivo assorbito dall'asse dei ventilatori — |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 110 | 52.5 | 7.6 | 60.1 | 346 | 241 | 35 | 276 | 485 |
| 120 | 62.5 | 9.1 | 71.6 | 377 | 313 | 46 | 359 | 629 |
| 130 | 73.3 | 10.7 | 84.0 | 408 | 398 | 58 | 456 | 800 |

Quadro 19

## Forza motrice occorrente e diversi elementi dei ventilatori per ottenere un determinato effetto di ventilazione in varie ipotesi di corrente naturale

| $V_0$ | $E$ | $e$ | $e_o$ | $Q$ | $q$ | $n$ | $L_e$ | $L_p$ | $L_u$ | $\eta_1 = \frac{L_u}{L_p}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Velocità della corrente naturale in Galleria | Pressioni in m/m d'acqua da prodursi nella camera dell'ugello | da prodursi davanti al gello dell'ugello | che si produce dietro l'ugello in causa del rigurgito | Portata in m³ al 1" dei ventilatori | del rigurgito | Numero dei giri dei ventilatori | Lavoro effettivo occorrente sull'albero dei ventilatori | Lavoro pneumatico alla bocca dell'ugello | Lavoro pneumatico utile di ventilazione | Coefficiente di effetto utile rispetto alla ventilazione |
| Per produrre una corrente artificiale V = m. 3 al 1", a galleria libera da treni, ossia una corrente $V_1$ = m. 2.58 al 1" in media, tenendo conto del passaggio dei treni. | | | | | | | | | | |
| 2 | 27.0 | 16.7 | 1.0 | 248 | 138 | 79 | 179 | 89 | 23 | 0.26 |
| 1 | 44.1 | 25.6 | 2.2 | 314 | 205 | 100 | 371 | 185 | 31 | 0.17 |
| 0 | 49.4 | 30.0 | 2.6 | 332 | 223 | 106 | 440 | 219 | 32 | 0.15 |
| −1 | 54.7 | 33.3 | 3.0 | 349 | 240 | 111 | 512 | 255 | 31 | 0.12 |
| −2 | 69.8 | 43.3 | 4.2 | 393 | 284 | 125 | 736 | 366 | 23 | 0.06 |
| −3 | 95.7 | 59.9 | 6.4 | 459 | 350 | 146 | 1177 | 586 | 0 | 0.00 |
| Per produrre una corrente artificiale V = m. 4 al 1", a galleria libera da treni, ossia una corrente $V_1$ = m. 3.44 al 1" in media tenendo conto del passaggio dei treni. | | | | | | | | | | |
| 3 | 40.5 | 23.3 | 1.3 | 304 | 158 | 97 | 330 | 164 | 44 | 0.27 |
| 2 | 67.1 | 40.0 | 3.1 | 389 | 243 | 124 | 699 | 348 | 67 | 0,19 |
| 1 | 82.5 | 50.0 | 4.2 | 430 | 284 | 137 | 950 | 473 | 75 | 0,16 |
| 0 | 88.1 | 53.3 | 4.6 | 444 | 298 | 141 | 1048 | 521 | 77 | 0.15 |
| −1 | 93.0 | 56.6 | 5.0 | 455 | 310 | 145 | 1135 | 564 | 75 | 0.13 |
| −2 | 108.4 | 66.6 | 6.2 | 491 | 346 | 156 | 1427 | 710 | 67 | 0.09 |
| −3 | 134.4 | 83.3 | 8.3 | 545 | 399 | 173 | 1964 | 977 | 44 | 0.05 |

I diversi elementi vennero determinati con le seguenti formole ed equazioni:

$$e = \frac{\gamma}{2g}\left(1 + \rho\frac{L}{D}\right)\left(V^2 \mp V_o^2\right) \quad ; \quad Q = \omega\sqrt{\frac{2g}{\gamma}\left(E - e_o\right)} \quad ; \quad q = Q - \Omega V_1$$

$$\sqrt{E - e_o}\left\{\cos\theta\sqrt{E - e_o} - V_1\sqrt{\frac{\gamma}{2g}}\right\} = \frac{\Omega}{4\mu\omega}\left(e - e_o\right) \quad ; \quad \sqrt{e_o} = \frac{\omega}{\omega_o}\sqrt{E - e_o} - \frac{\Omega V_1}{\omega_o}\sqrt{\frac{\gamma}{2g}}$$

$$L_u = \frac{\gamma\Phi^3\Omega}{2g\,75}\left(1 + \rho\frac{L}{D}\right)\left(V^3 - V_o^3\right) \quad ; \quad L_p = \frac{QE}{75} \quad ; \quad L_e = \frac{1}{0{,}57}\left(1 + \frac{0{,}00058}{0{,}00398}\right)L_p$$

Quadro 20

## Analisi dei prodotti della combustione raccolti dai camini delle locomotive

| Data | | Condizioni nelle quali venne raccolto il campione | Ossigeno | Acido carbonico | Ossido carbonico |
|---|---|---|---|---|---|
| Giorno | Ora | | | | |
| 15 Giugno 1899 | 16, 5' | Camino Locomotiva 135 del Treno 723 al Km. 5 | 110 | 80 | 6 |
| 16 » » | 18, 58' | » » 133 » 518 » 11 | 152 | 50 | 4 |
| 17 » » | 12,40' | » » 106 » 513 fra i Km: 5 e 7 | 112 | 70 | 4 |
| » » » | 14, 11' | » » 216 » 56 » » 11 e 8 | 134 | 60 | 14 |
| 19 » » | 8,36' | » » 124 » 509 al Km 5 | 110 | 74 | 10 |
| » » » | 19, 4' | » » 124 » 518 » 5 | 108 | 78 | 12 |
| | | Media | 121 | 69 | 8 |

Quadro 21

## Analisi dell'aria raccolta in diverse posizioni della Galleria

| Data | | Condizioni nelle quali venne raccolto il campione | Progressiva alla quale venne raccolto il campione | Gas determinati | | | Coefficiente di inquinamento $\psi$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Giorno | Ora | | | Ossigeno | Acido carbonico | Ossido carbonico | |
| 12 Giugno 1899 | 10,40' | Raccolto nella parte mediana della Galleria dopo il passaggio del treno 3. | 500 m. dall'imbocco Göschenen | 214 | 0 | 0 | 0 |
| » » » | 12. 2' | Raccolto fra i due binari dopo il passaggio del treno 54. | 500 m. dall'imbocco Göschenen | 210 | 0 | 0 | 0 |
| Ambiente della Galleria presso l'imbocco Göschenen | | Media | | 212 | 0 | 0 | 0 |
| 14 » » | 9.20' | Raccolto fra i due binari; la Galleria essendo ingombra di fumo. | 225 m. dall'imbocco Airolo | 208 | 0 | 2 | 2 |
| » » » | 17.5' | Raccolto fra i due binari. | 500 m. dall'imbocco Airolo | 210 | 2 | 4 | 6 |
| 19 » » | 9.20' | Raccolto fra i due binari | 500 m. dall'imbocco Airolo | 200 | 8 | 6 | 14 |
| Ambiente della Galleria presso l'imbocco Airolo | | Media | | 206 | 3.3 | 4 | 7.3 |

Quadro 22

# Analisi dell'aria raccolta in diversi punti dei treni in marcia

| Data | | Condizioni nelle quali venne raccolto il campione | Velocità media del treno in Galleria m. al 1" | Gas determinati | | | Coefficiente di inquinamento |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Giorno | Ora | | | Ossigeno | Acido carbonico | Ossido carbonico | |
| | | *Treni da Göschenen ad Airolo* | | | | | |
| 14 Giugno 1899 | 8,40' | Garetta del carro in coda al treno 509 fra i Km. 5 ed 8 | 9.60 | 210 | 2 | 2 | 4 |
| " " " | 8.45' | Come sopra " " 509 " 8 e 10 | " | 210 | 2 | 2 | 4 |
| " " " | 16.29' | Garetta del terz'ultimo carro del treno 517 " 5 e 8 | 9.25 | 212 | 4 | 4 | 8 |
| " " " | 16.35' | Come sopra " " 517 " 8 e 10 | " | 204 | 4 | 2 | 6 |
| 15 " " | 16.5' | Garetta del carro in coda al treno 723 " 5 e 7 | 8.60 | 206 | 2 | 4 | 6 |
| 16 " " | 16.13' | Tender della locomotiva del treno 723 " 10 e 11 (subito dopo l'incrocio col treno 4) | 8.60 | 206 | 4 | 2 | 6 |
| 17 " " | 12.38' | Garetta del carro in coda al treno 513 " 4 e 5 (subito dopo l'incrocio col treno 2) | 8.75 | 208 | 8 | 4 | 12 |
| " " " | 10.50' | Garetta del carro in coda al treno 3 " 5 e 7 | 11.30 | 208 | 10 | 4 | 14 |
| 18 " " | 8.47' | Garetta del carro in coda al treno 509 " 5 e 7 | 9.60 | 208 | 6 | 4 | 10 |
| 19 " " | 16.21' | Garetta del carro in coda al treno 517 al Km. 11 | 9.25 | 204 | 6 | 4 | 10 |
| | | | | 208 | 5 | 3.3 | 8.3 |
| | | *Treni da Airolo a Göschenen* | | | | | |
| 14 Giugno 1899 | 9.54' | Garetta in coda al treno 510 fra i Km. 10 e 8 | 10.40 | 208 | 0 | 0 | 0 |
| " " " | 19. – | Carro scoperto in coda al treno 518 " 10 e 8 | 8.75 | 210 | 0 | 2 | 2 |
| 15 " " | 17.42' | Garetta del carro in coda " 730 " 11 e 9 | 7.30 | 210 | 2 | 2 | 4 |
| 16 " " | 19.8' | Tender della locomotiva " 518 " 8 e 7 (subito dopo l'incrocio col treno 47) | 8.75 | 206 | 4 | 2 | 6 |
| 17 " " | 14.17' | Carro bagagli del treno 56 " 9 e 8 (subito dopo l'incrocio col treno 45) | 15.40 | 204 | 4 | 4 | 8 |
| 18 " " | 12.2' | Carrozza di coda al treno 52 al Km. 11 (raccolto da un finestrino) | 15.60 | 208 | 4 | 2 | 6 |
| 19 " " | 19.10' | Garetta del carro in coda al treno 518 " 5 | 8.75 | 204 | 6 | 6 | 12 |
| | | | | 207 | 3 | 2.5 | 5.5 |
| | | Media generale | | 208 | 4 | 3 | 7 |

Quadro 23

## Consumo di combustibile e di acqua per i treni viaggiatori e merci lungo il percorso della Galleria del Gottardo

| Dati sui treni | | Quantità calcolate secondo le formole adottate dalla R.A. (*) | | Quantità misurate direttamente sulle locomotive dei treni (**) | |
|---|---|---|---|---|---|
| Direzione | Categoria | Carbone Kg. | Acqua Kg. | Carbone Kg. | Acqua Kg. |
| da Airolo a Göschenen | Viaggiatori | 136 | 1156 | 100 | 1000 |
| | Merci | 191 | 1623 | 134 | 1840 |
| da Göschenen ad Airolo | Viaggiatori | 192 | 1632 | — | — |
| | Merci | 278 | 2363 | 235 | 2250 |
| Medie generali (***) | | 223 | 1895 | 170 | 1870 |

(*) Vennero calcolate con le formule indicate in nota a Pag. 119 dello studio eseguito sulla ventilazione nella Galleria di Bracchia, tenendo conto che il peso medio dei treni Viaggiatori che attraversano la Galleria del Gottardo è di Tonn. 160, quello dei treni Merci di Tonn. 320, quello delle locomotive Tonn. 52 e dei tender Tonn. 25.

(**) Vennero desunte misurando direttamente la quantità d'acqua che si deve attingere dal tender per ricondurre, dopo la traversata della Galleria, il livello in caldaia allo stesso punto in cui trovavasi prima d'entrarvi, ed il volume di combustibile (considerato come Koke = Kg. 350 per m³) consumato nel fornello. Tali misure vennero fatte sopra le locomotive dei treni 52 del giorno 18; 518, 509 e 517 del giorno 19 Giugno 1899.

(***) Le medie generali vennero stabilite tenendo conto che nell'orario grafico sopra 60 treni, 50 sono merci e 10 viaggiatori. Per i treni viaggiatori Göschenen - Airolo vennero tenuti gli stessi consumi dati dall'esperienza per quelli in senso opposto.

Quadro 24

## Incrementi dei diversi coefficienti d'inquinamento prodotti dal passaggio di ciascun treno

| Velocità della corrente in galleria | | ψ | u | T |
|---|---|---|---|---|
| supposta libera di treni $V$ | tenendo conto del passaggio dei treni $V_1$ | Coefficiente di inquinamento $CO + CO^2$ in litri per m.$^3$ | umidità assoluta in grammi per $m^3$ | aumento della temperatura in galleria in gradi c.$^i$ |
| 1 | 0.86 | 0.56 | 2.8 | 1°.19 |
| 2 | 1.72 | 0.60 | 3.0 | 1°.27 |
| 3 | 2.58 | 0.64 | 3.2 | 1°.35 |
| 4 | 3.44 | 0.67 | 3.4 | 1°.43 |

Quadro 25

## Coefficienti di inquinamento nei punti ove si accumula la maggior quantità dei prodotti abbandonati dai treni nelle diverse ipotesi di traffico e di corrente considerate dalla Tav.ª VIII

| Ipotesi di traffico | Numero massimo di treni dei quali si accumulano i prodotti | Velocità della corrente in galleria | | ψ | u | T |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | supposta libera di treni $V$ | tenendo conto del passaggio dei treni $V_1$ | Coefficiente di inquinamento $CO + CO^2$ in litri per m.$^3$ | umidità assoluta dovuta al passaggio dei treni in gr. per m.$^3$ | aumento di temperatura dovuto al passaggio treni in gradi c.$^i$ |
| dell'anno | | | | | | |
| 1884 | 7 | 1 | 0.86 | 3.9 | 19.6 | 8°.3 |
| 1899 | 16 | 1 | 0.86 | 9.0 | 44.8 | 19°.0 |
| 1899 | 10 | 2 | 1.72 | 6.0 | 30.0 | 12°.7 |
| 1899 | 8 | 3 | 2.58 | 5.1 | 25.6 | 10°.8 |
| 1899 | 6 | 4 | 3.44 | 4.0 | 20.4 | 8°.6 |
| Traffico massimo a circolazione libera fra Göschenen ed Airolo | 8. | 4 | 3.44 | 5.3 | 27.2 | 11°.4 |

Quadro 26

## Quantità d'acqua che può essere contenuta in un metro cubo d'aria al massimo grado di saturazione a seconda delle diverse temperature

| Temperatura | 10° | 12° | 14° | 16° | 18° | 20° | 22° | 24° | 26° |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| grammi di vapor d'acqua per m.$^3$ d'aria | 9.4 | 10.6 | 12.0 | 13.6 | 15.3 | 17.3 | 19.4 | 21.7 | 24.2 |

# IMPIANTO ALL'IMBOCCO GÖSCHENEN PER LA VENTILAZIONE ARTIFICIALE COL SISTEMA "SACCARDO" DELLA GALLERIA DEL GOTTARDO

(IMPIANTO PROVVISORIO DI MOTRICE A VAPORE CON TRASMISSIONI AD INGRANAGGIO ED A FUNI)

Scala 1:200

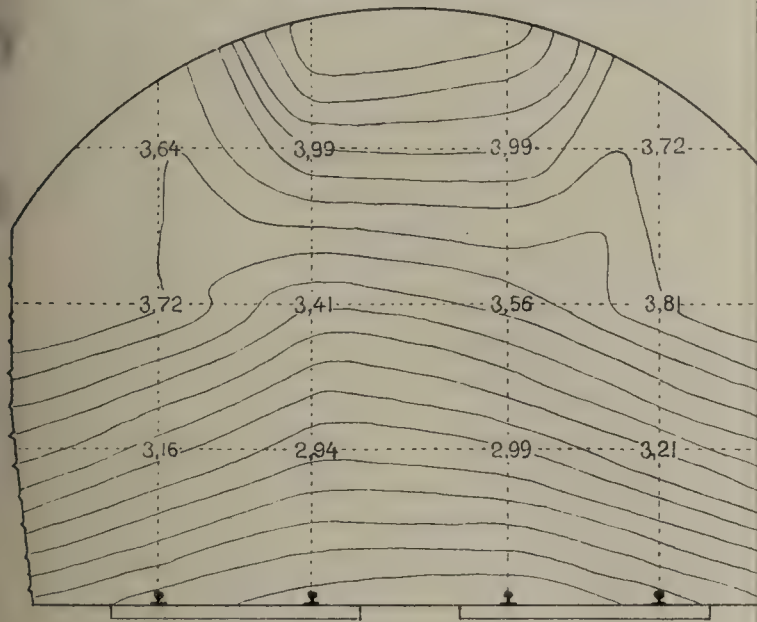
Ancona, Litografia della Direzione Lavori S. F. M.

Suddivisione in scomparti
della sezione normale della Galler

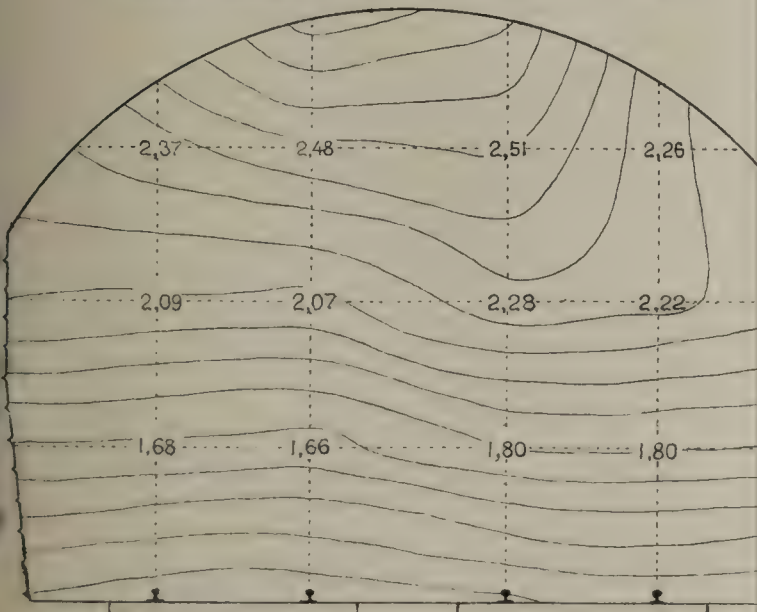
Ω = Area totale m.² 42,4. P = Perimetro m. 25,00. D = Diametro m

2.ª ESPERIENZA (*Sezione a* m. 500 *dall' imbocco G*

Velocità media della corrente m. 3,47 al 1"

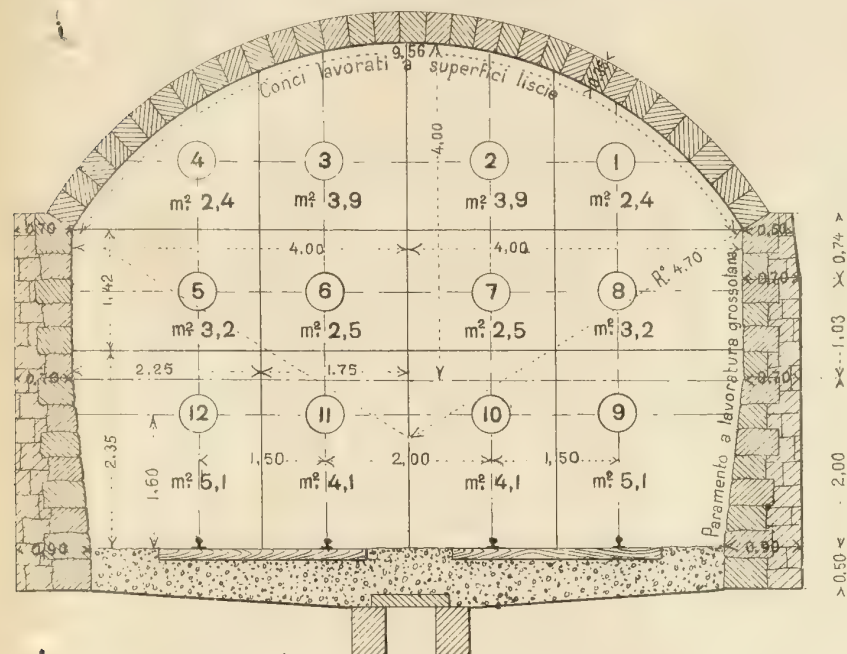
Velocità indicata dall' Anemometro fisso m. 2,95 al 1"

4.ª ESPERIENZA (*Sezione a* m. 500 *dall' imbocco G*

Velocità media della corrente m. 2,11 al 1"

Velocità indicata dall' Anemometro fisso m. 1,91 al 1"

# DISTRIBUZIONE DELLA VELOCITÀ DELLA CORRENTE IN DIVERSE SEZIONI DELLA GALLERIA

Scala 1:100

## Suddivisione in scomparti della sezione normale della Galleria

$\Omega$ = Area totale m.$^2$ 42,4. P = Perimetro m. 25,00. D = Diametro medio $\frac{4\Omega}{P}$ = 6,8

Conci lavorati a superfici liscie

Paramento a lavoratura grossolana

| 4 | 3 | 2 | 1 |
|---|---|---|---|
| m.$^2$ 2,4 | m.$^2$ 3,9 | m.$^2$ 3,9 | m.$^2$ 2,4 |

| 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|
| m.$^2$ 3,2 | m.$^2$ 2,5 | m.$^2$ 2,5 | m.$^2$ 3,2 |

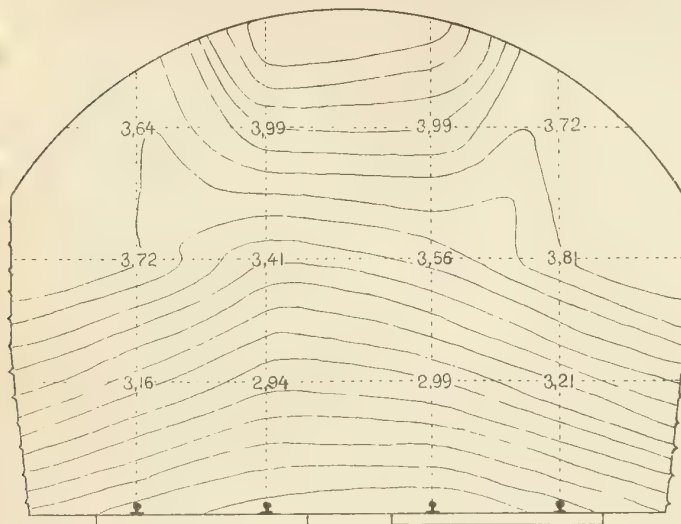
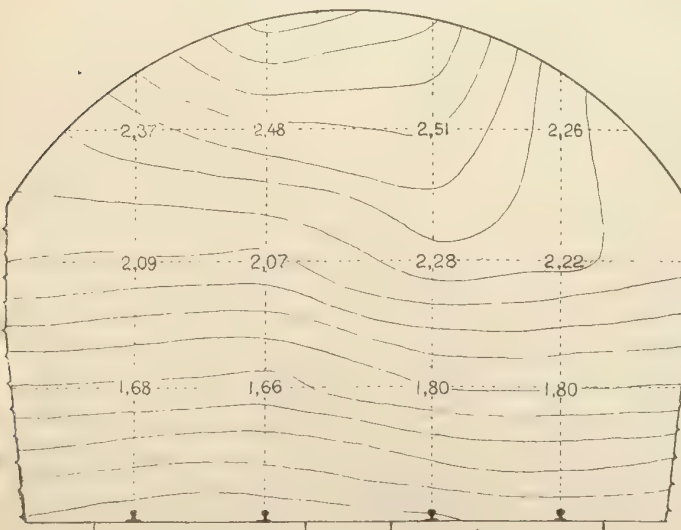
| 12 | 11 | 10 | 9 |
|---|---|---|---|
| m.$^2$ 5,1 | m.$^2$ 4,1 | m.$^2$ 4,1 | m.$^2$ 5,1 |

## 1.$^a$ ESPERIENZA (*Sezione a* m. 500 *dall'imbocco Göschenen*)

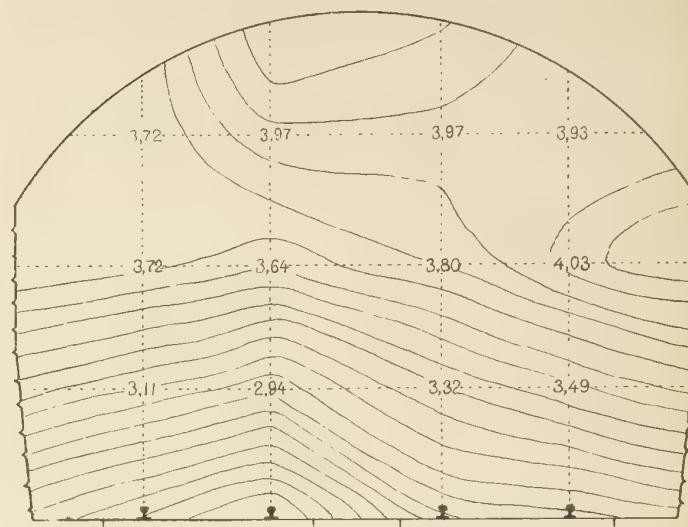
Velocità media della corrente m. 3,47 al 1"

Velocità indicata dall'Anemometro fisso m. 2,95 al 1"

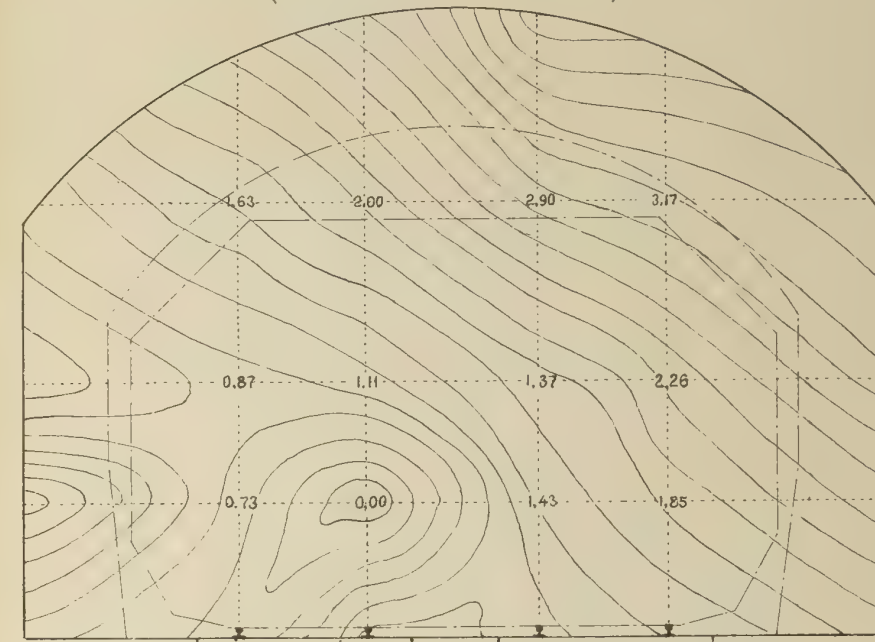
| 3,72 | 3,97 | 3,97 | 3,93 |
|---|---|---|---|
| 3,72 | 3,64 | 3,80 | 4,03 |
| 3,11 | 2,94 | 3,32 | 3,49 |

## Sezione d'imbocco verso Göschenen (*Corrente di rigurgito*)

## 2.$^a$ ESPERIENZA (*Sezione a* m. 500 *dall'imbocco Göschenen*)

Velocità media della corrente m. 3,47 al 1"

Velocità indicata dall'Anemometro fisso m. 2,95 al 1"

## 3.$^a$ ESPERIENZA (*Sezione a* m. 500 *dall'imbocco Göschenen*)

Velocità media della corrente m. 3,12 al 1"

Velocità indicata dall'Anemometro fisso m. 2,84 al 1"

## Suddivisione dell'ugello in scomparti

## 4.$^a$ ESPERIENZA (*Sezione a* m. 500 *dall'imbocco Göschenen*)

Velocità media della corrente m. 2,11 al 1"

Velocità indicata dall'Anemometro fisso m. 1,91 al 1"

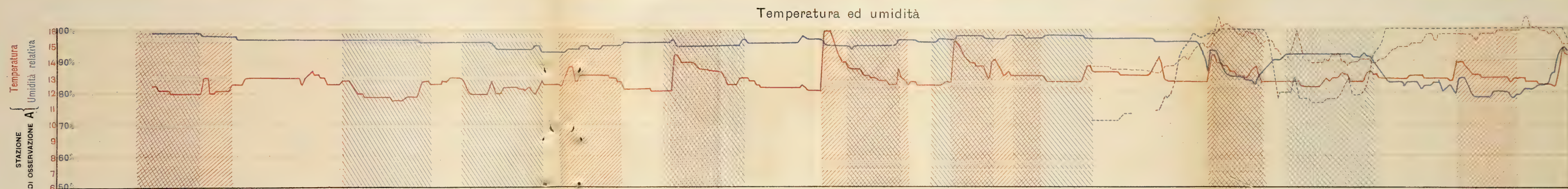
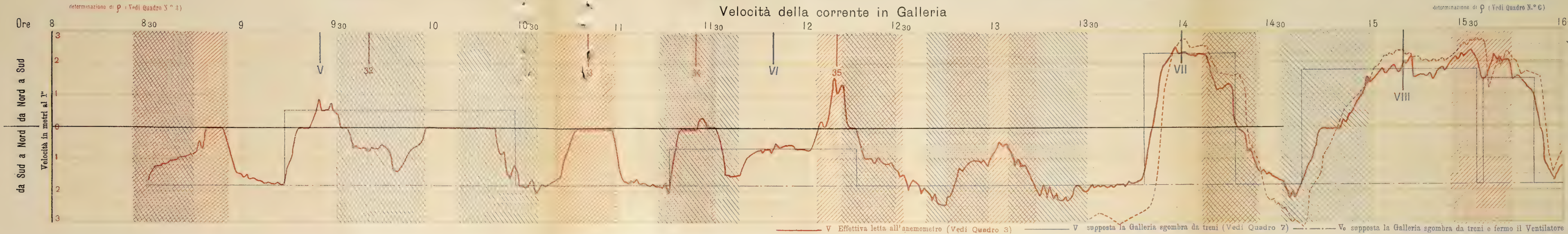
## 5.$^a$ ESPERIENZA (*Sezione a* m. 225 *dall'imbocco Airolo*)

Velocità media della corrente m. 1,91 al 1"

Velocità indicata dall'Anemometro fisso m. 1,60 al 1"

## Esperienze ad ugello parzialmente chiuso

ESPERIENZE DI VENTILAZIONE ARTIFICIALE COL SISTEMA "SACCARDO" NELLA GALLERIA DEL GOTTARDO (DIAGRAMMI RILEVATI NEL GIORNO 13 GIUGNO 1899)
Velocità della corrente in Galleria
Ore
Velocità in metri al 1"
da Nord a Sud
da Sud a Nord
V. Effettiva letta all'anemometro (Vedi Quadro N. 3)
V supposta la Galleria sgombra da treni
Vo supposta la Galleria sgombra da treni e fermo il Ventilatore
Temperatura ed umidità
Temperatura
Umidità relativa
STAZIONE DI OSSERVAZIONE A
Orario dei Treni
GÖSCHENEN
Stazione d'osservazione a m. 500 A
CAMERA CENTRALE B
Stazione d'osservazione a m. 225 C
AIROLO
Pressioni prodotte dal Ventilatore
PRESSIONI
nell'Ugello
nella Galleria
in mm. di colonna d'acqua
DEPRESSIONI NELLE CAMERE DI ASPIRAZIONE
Velocità del Ventilatore
NUMERO DEI GIRI AL 1" DEL VENTILATORE

ESPERIENZE DI VENTILAZIONE ARTIFICIALE COL SISTEMA "SACCARDO" NELLA GALLERIA DEL GOTTARDO — DIAGRAMMI RILEVATI NEL GIORNO 20 GIUGNO 1899
Velocità della corrente in Galleria
Temperatura ed umidità
Orario dei Treni
Pressioni prodotte dal Ventilatore
Velocità del Ventilatore
Ore
da Sud a Nord
da Nord a Sud
Velocità in metri al 1"
V Effettiva letta all'anemometro (Vedi Quadro 3)
V supposta la Galleria sgombra da treni (Vedi Quadro 7)
V₀ supposta la Galleria sgombra da treni e fermo il Ventilatore
STAZIONE DI OSSERVAZIONE A
Temperatura
Umidità relativa
GÖSCHENEN
Stazione d'osservazione a m. 500 A
CAMERA CENTRALE B
Stazione d'osservazione a m. 225 C
AIROLO
PRESSIONI
nell' Ugello
nella Galleria
DEPRESSIONI NELLE CAMERE DI ASPIRAZIONE
NUMERO DEI GIRI DEL VENTILATORE AL 1'
N.B. I diagrammi e linea punteggiata si riferiscono alle letture fatte nella stazione d'osservazione a 225 m. dall'imbocco Airolo.

# ESPERIENZE DI VENTILAZIONE ARTIFICIALE COL SI

## DIAGRAMMI DELLA FORZA MOTRICE E

Diagramma I

LAVORO EFFETTIVO ASSORBITO DALL'ASSE DEI VENTILATORI AD UGELLO COMPLERNAMENTE APERTO

E LAVORI ASSORBITI DALLE RESISTENZE PASSIVE DELLE TRASMISSIONI E DELLA MOTRICE A VUOTO

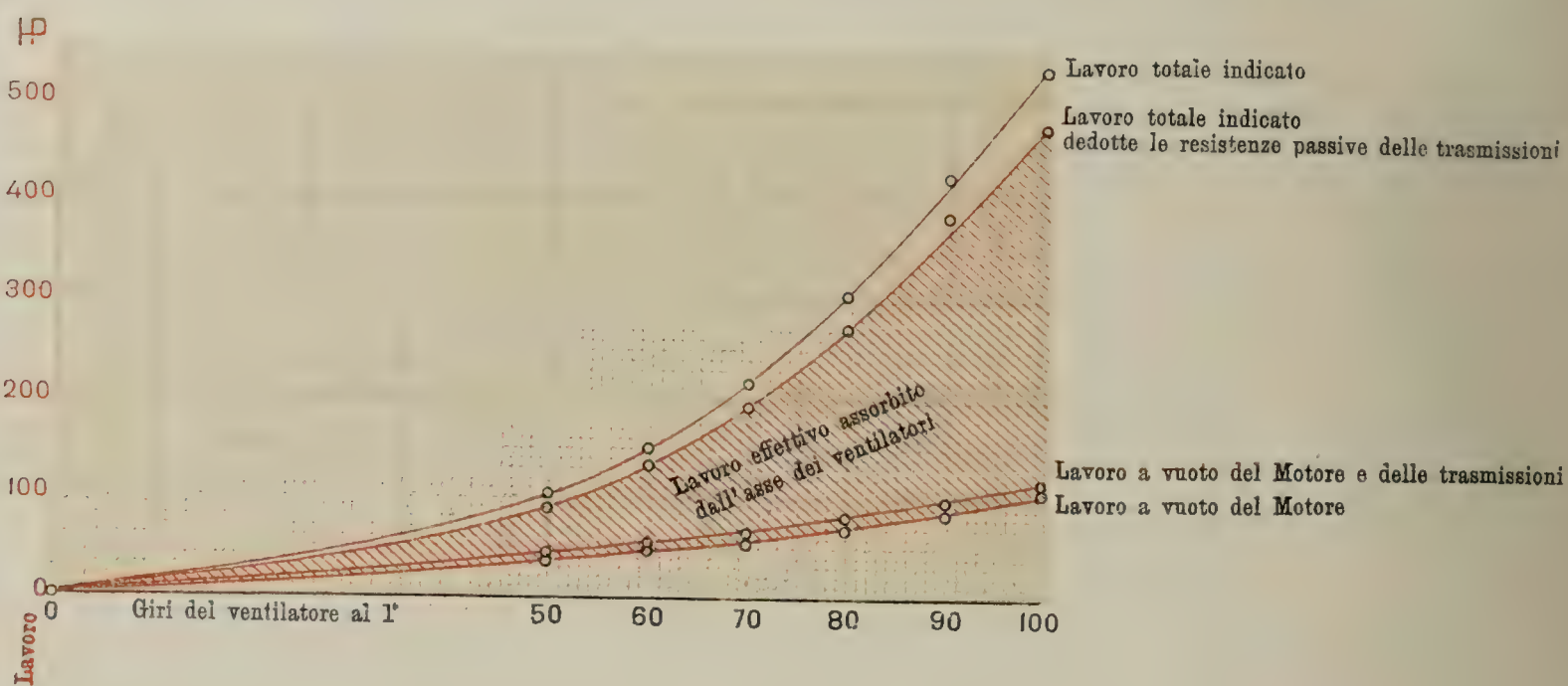



Diagramma II

CURVE CARATTERISTICHE DEI VENTILATORI IN CORRISPONDENZA DELLE DIVERSE VELOCITÀ

in mm. d'acqua HP m³

80 800 800

70 700 700

60 600 600

50 500 500

40 400 400

30 300 300

20 200 200

10 100 100

0 0 0

-10 100

Pressione Lavoro Portata al 1''

N. dei giri dei ventilatori al 1' 50 60 70 80 90 100 110 120 130

Lavoro effettivo sull'asse dei v

Pressione utile nella camera de

Portata dell'Ugello

Lavoro pneumatico utile alla bocca dell'Ugello

Lavoro pneumatico perduto ne

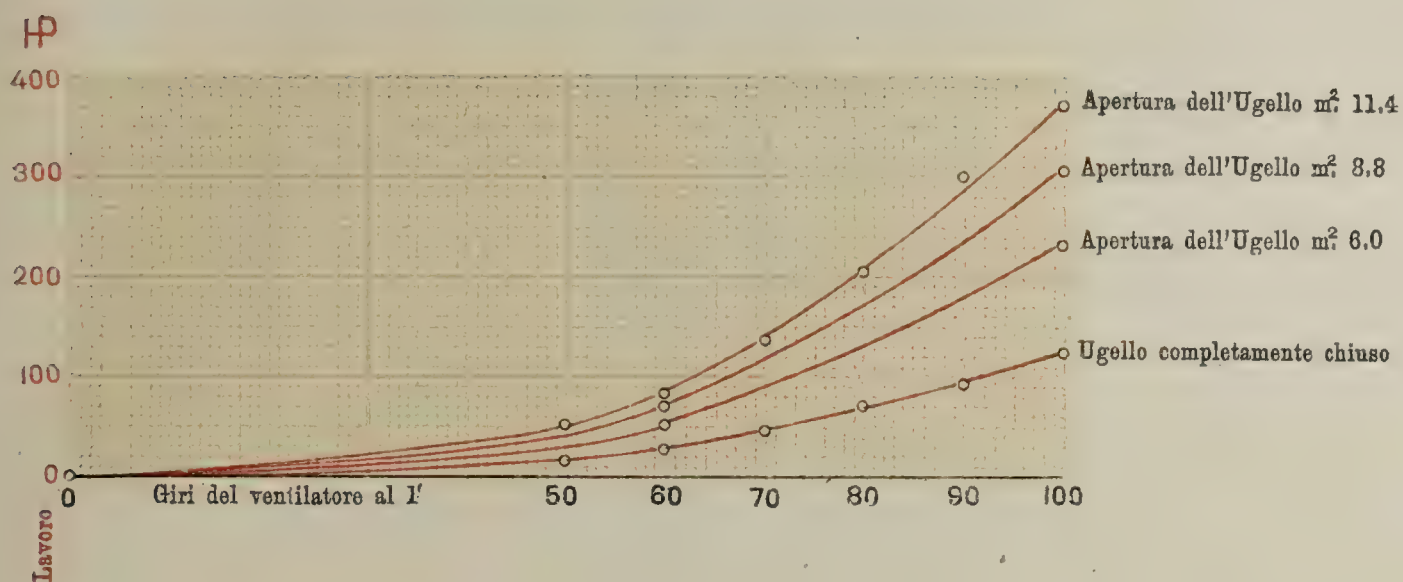
Depressione nelle camere di asp

NB. La parte delle curve in linea piena è compresa nei limiti delle esperienze, la parte punteggiata venne tracciata mediante le formole trovate

# MA „SACCARDO" NELLA GALLERIA DEL GOTTARDO

## VE CARATTERISTICHE DEI VENTILATORI

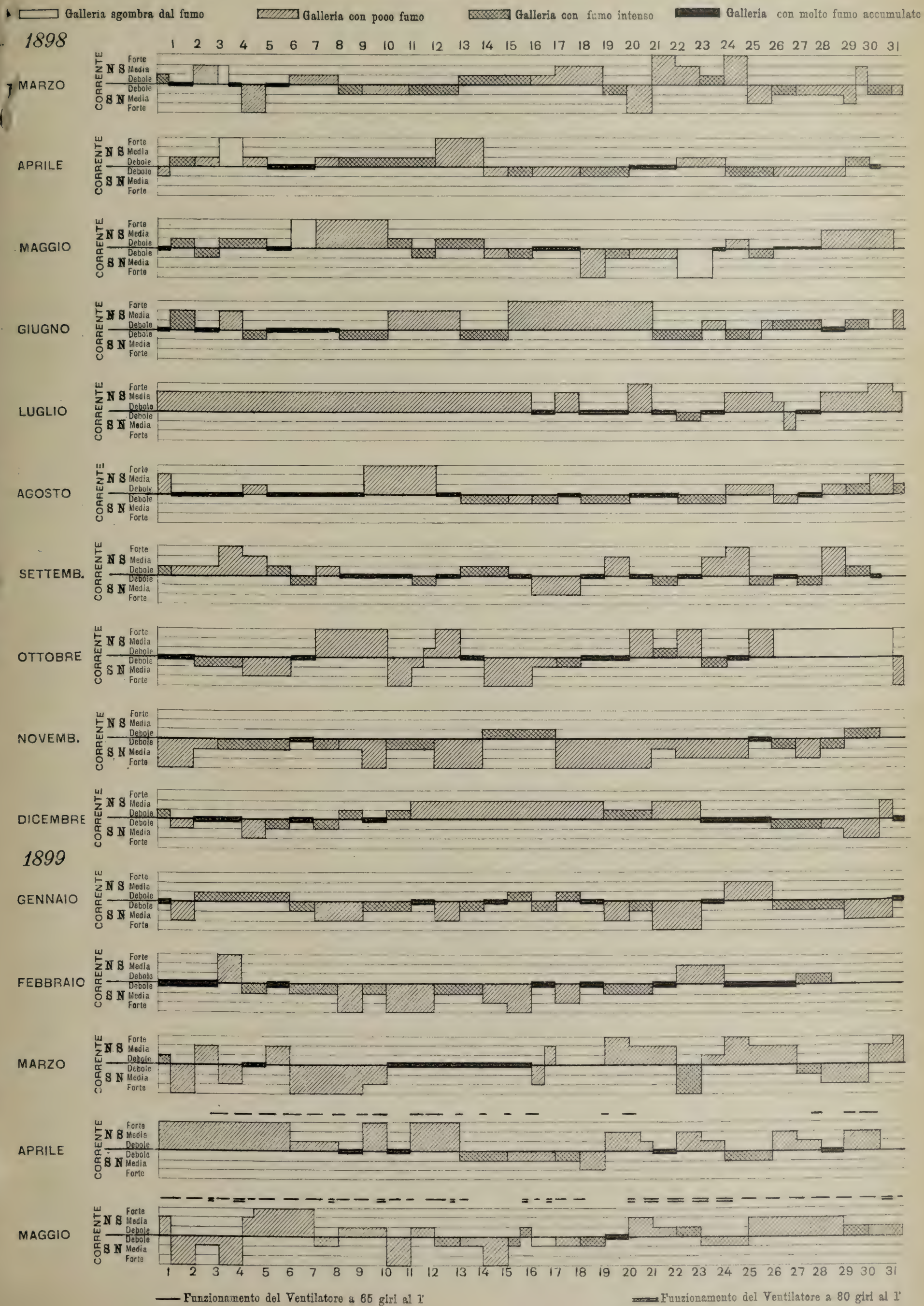
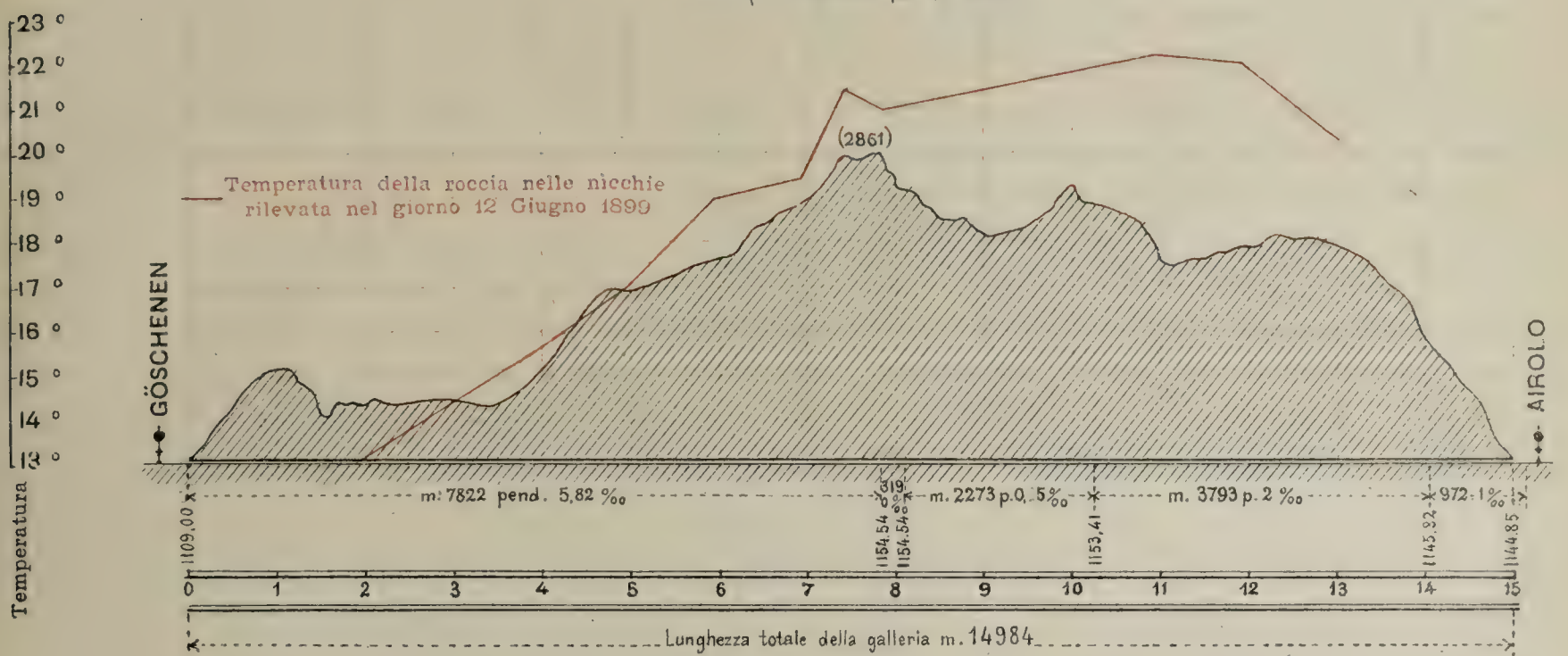
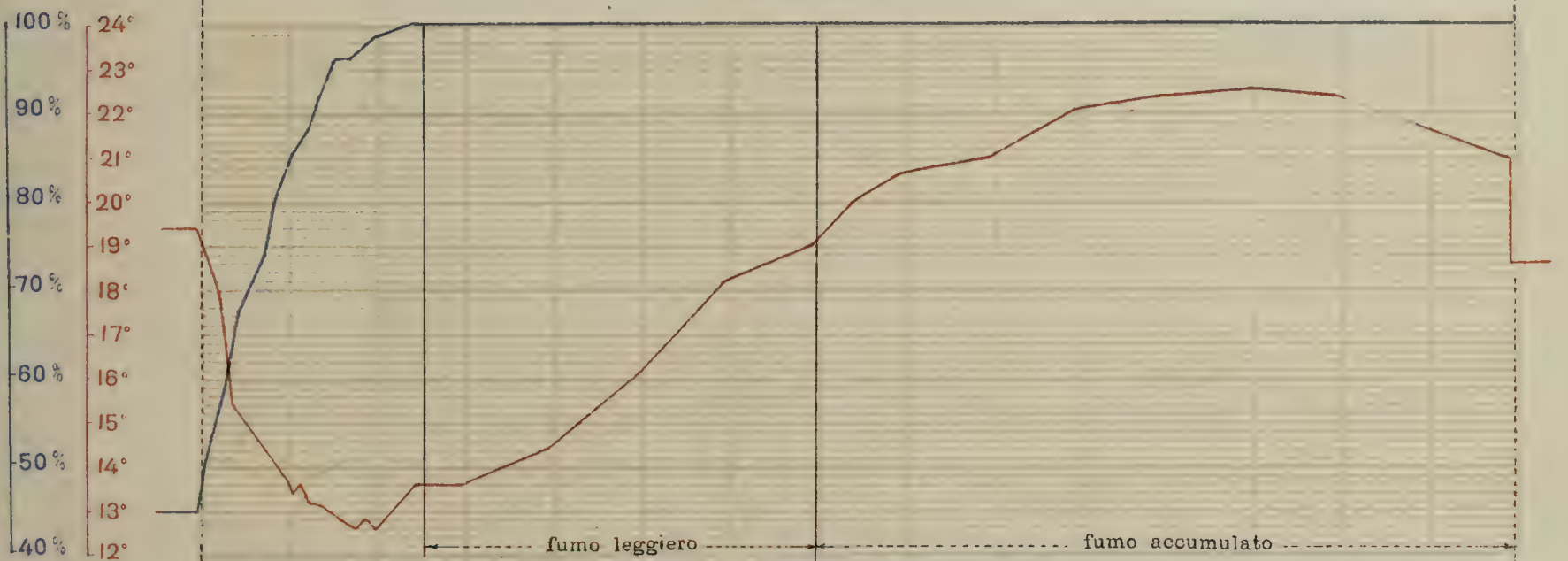
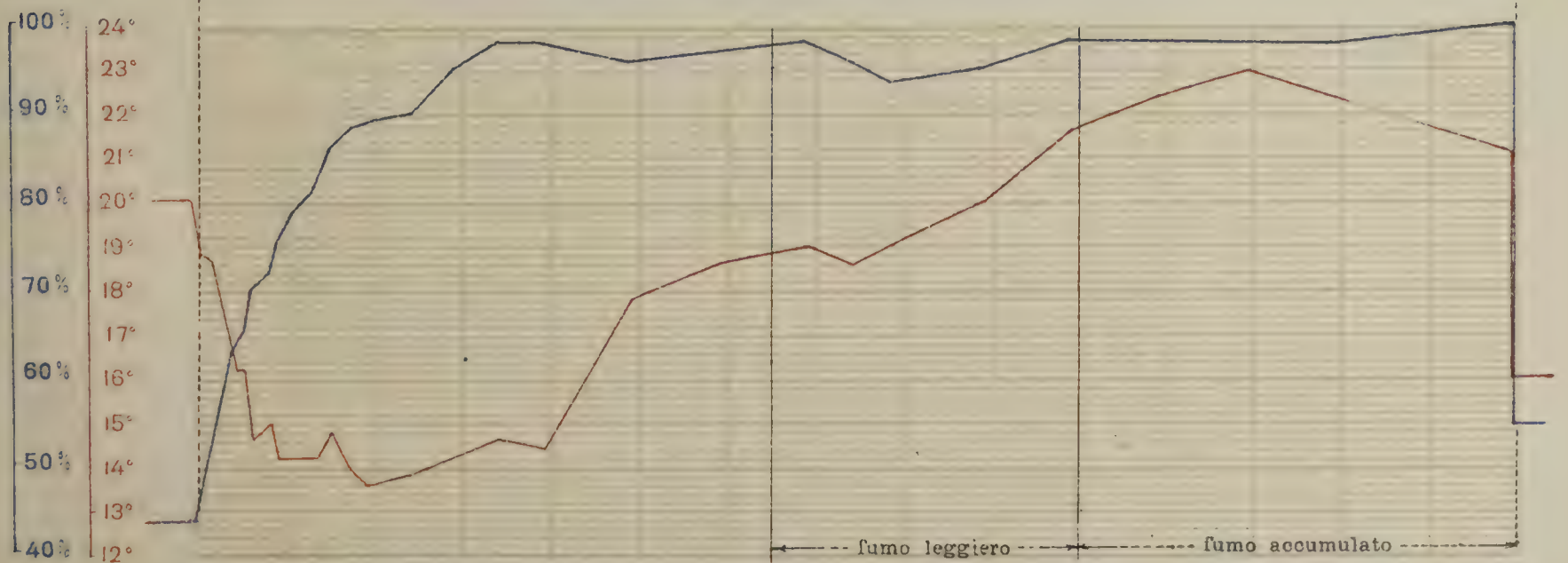
### Diagramma III

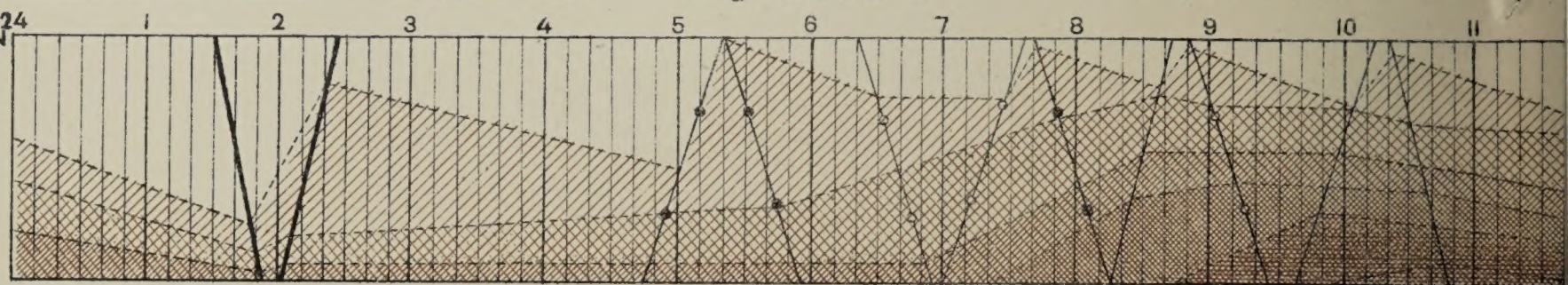
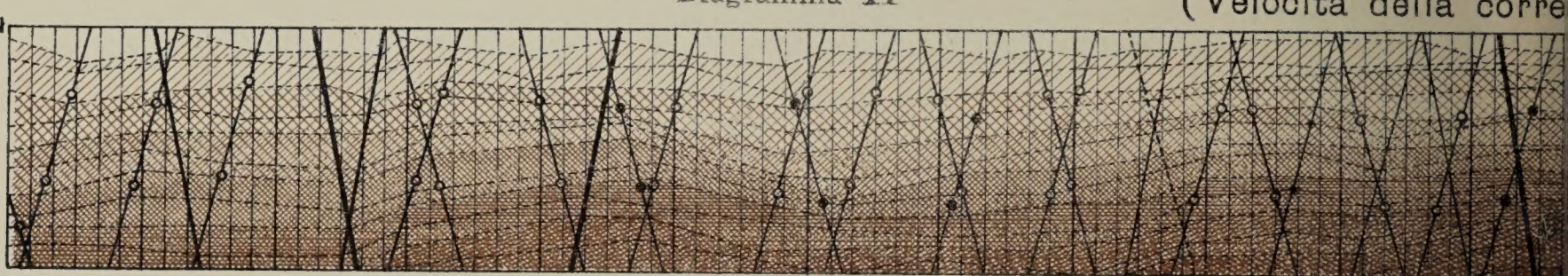
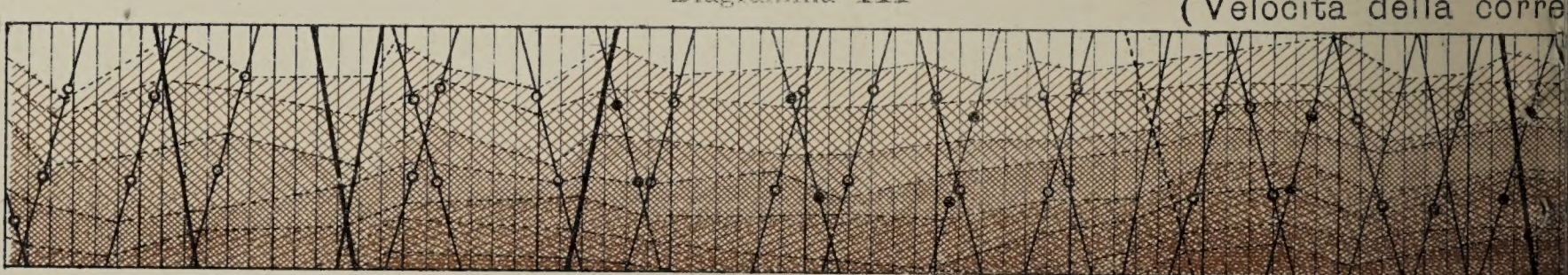
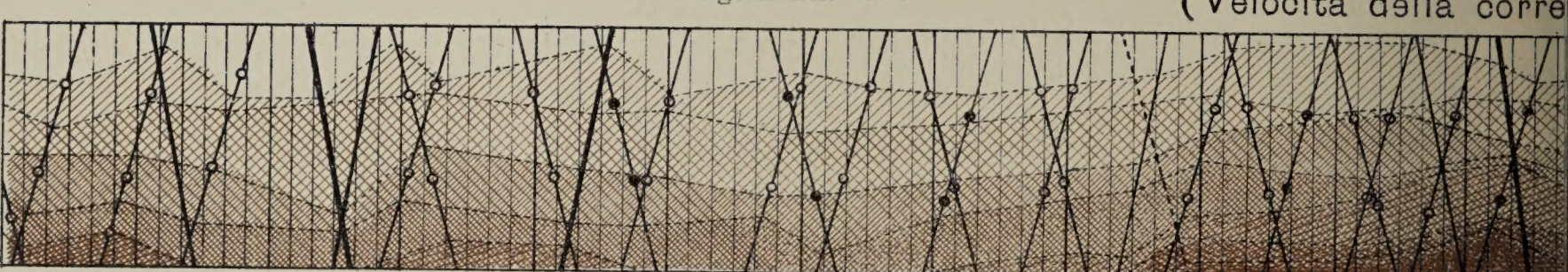
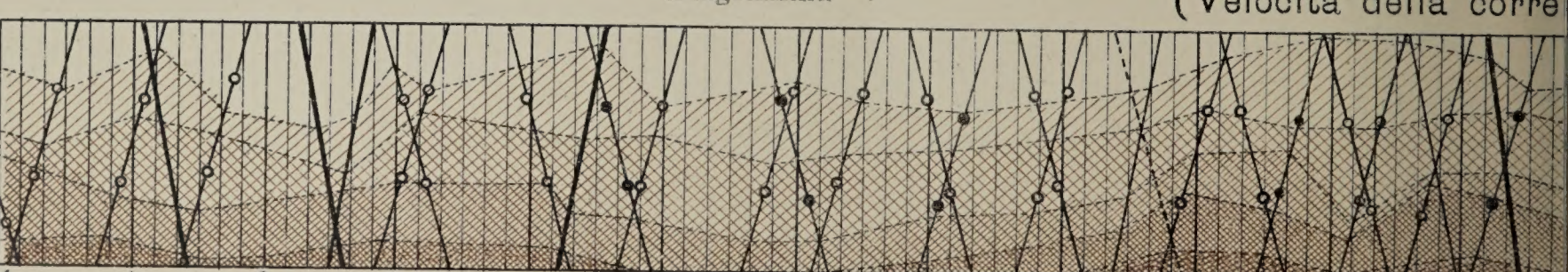
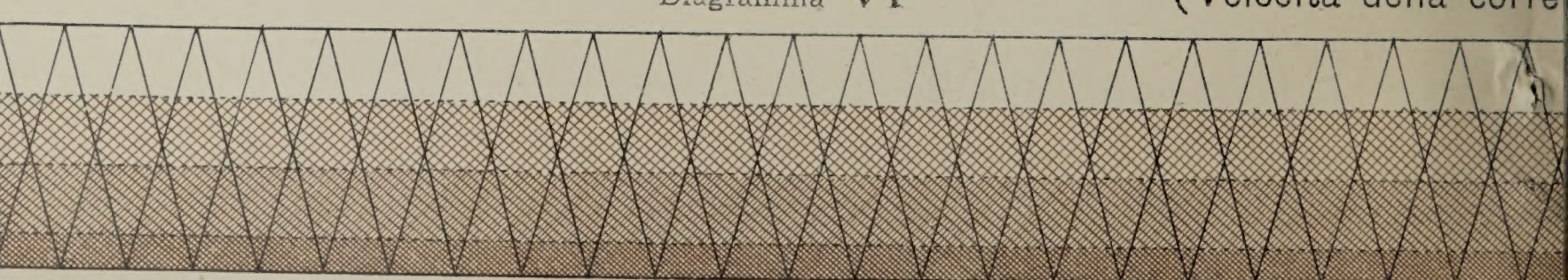
LAVORO EFFETTIVO ASSORBITO DALL'ASSE DEI VENTILATORI
IN CORRISPONDENZA A DIFFERENTI APERTURE DELL'UGELLO

### Diagramma IV

CURVE CARATTERISTICHE DEI VENTILATORI IN CORRISPONDENZA DELLE DIVERSE APERTURE DELL'UGELLO

ori
llo in mm. d'acqua HP m³
70 700 700
60 600 600
50 500 500
40 400 400
30 300 300
20 200 200
10 100 100
0 0 0
azione
ne -10
Pressione Lavoro Portata al 1"
Area dell'orificio dell' Ugello m² 6.0 m² 8.8 m² 11.4
Pressione E (100 giri)
Lavoro effettivo Le (100 giri)
Portata Q (100 giri)
Portata Q (60 giri)
Lavoro pneumatico Lp (100 giri)
Pressione E (60 giri)
Lavoro effettivo Le (60 giri)
Lavoro pneumatico Lp (60 giri)
Depressione ε (60 giri)
Depressione ε (100 giri)

# ANDAMENTO DELLA CORRENTE NELLA GALLERIA DEL GOTTARDO

*dal Marzo 1898 al Maggio 1899*

DISTRIBUZIONE DELLE TEMPERATURE E DELL'UMIDITÀ NELL'INTERNO DELLA GALLERIA
PROFILO LONGITUDINALE DELLA GALLERIA DEL GOTTARDO
Scala 1 : 100 000 per le distanze.
1 : 25 000 per le altezze.
Temperatura della roccia nelle nicchie rilevata nel giorno 12 Giugno 1899
(2861)
GÖSCHENEN
AIROLO
Temperatura
m. 7822 pend. 5,82 ‰
m. 2273 p. 0,5 ‰
m. 3793 p. 2 ‰
972 1 ‰
1109,00
1154,54
1154,54
1153,41
1145,92
1144,85
Lunghezza totale della galleria m. 14984
DIAGRAMMI DELLA TEMPERATURA E DEL GRADO DI UMIDITÀ NELL'INTERNO DELLA GALLERIA
Rilevati nel giorno 12 Giugno 1899 (mentre il Ventilatore era fermo)
Velocità della corrente m. 1,5 a m. 2 al 1"
fumo leggiero
fumo accumulato
Grado di umidità
Temperatura
Rilevati nel giorno 13 Giugno 1899 (mentre il Ventilatore funzionava ad intervalli)
Velocità della corrente m. 2 a m. 3 al 1"
fumo leggiero
fumo accumulato

# DIAGRAMMI DIMOSTRANTI L'ACCUMULARSI DEI PRODO
## IN DIVERSE IPOTESI DI

La velocità V della corrente è riferita alla Galleria supposta sgombra di treni Nei diagrammi per

# ...I DELLA COMBUSTIONE NELLA GALLERIA DEL GOTTARDO
## ...AFFICO E DI VENTILAZIONE

Massimo accumulamento dei prodotti della combustione 8 Treni